

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Российский государственный геологоразведочный университет  
им. Серго Орджоникидзе  
МГРИ

---



XV

Международная научно-практическая конференция  
«Новые идеи в науках о Земле»  
ТОМ 4

*Инновационные технологии геологической разведки  
горного и нефтегазового дела  
Бурение скважин  
Математическое моделирование и разведочная геофизика*

---

XV

International Scientific and Practical Conference  
«NEW IDEAS IN EARTH SCIENCES»

Спонсор конференции



1 - 2 апреля 2021 г. | April 1 - 2 , 2021

Москва | Moscow

Генеральный  
спонсор конференции



Металлоинвест

УДК 082 +[550.8+553](082)  
ББК 94.3 + 26.21я43 + 26.34я43

Новые идеи в науках о Земле: в 7 т. Материалы XV Международной научно-практической конференции «Новые идеи в науках о Земле»– М. : Издательство РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ, 2021.

ISBN 978-5-6045457-0-6

Т. 4: Развитие новых идей и тенденций в науках о Земле: геология, геотектоника, геодинамика, региональная геология, палеонтология / ред. коллегия: В.А. Косьянов, В.Ю. Керимов, В.В. Куликов. - М.:

Издательство РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ, 2021. – 343 с.

ISBN 978-5-6045457-4-4

УДК 082 +[550.8+553](082)  
ББК 94.3 + 26.21я43 + 26.34я43

ISBN 978-5-6045457-4-4 (т. 4)  
ISBN 978-5-6045457-0-6

© РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ, 2021

## СОДЕРЖАНИЕ

### СЕКЦИЯ «ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ, ГОРНОГО И НЕФТЕГАЗОВОГО ДЕЛА»

1. О целесообразности применения прямопоисковых геофизических методов для обнаружения и локализации зон скопления и миграции водорода  
Якимчук Н.А. (Институт прикладных проблем экологии, геофизики и геохимии, yakumchuk@gmail), Корчагин И.Н.\* (Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, korchagin.i.n@gmail.com).....10
2. Геологическое строение участка посадки марсохода NASA Perseverance на Марсе по результатам частотно-резонансной обработки спутниковых снимков  
Якимчук Н.А. (Институт прикладных проблем экологии, геофизики и геохимии, yakumchuk@gmail.com), Корчагин И.Н.\* (Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, korchagin.i.n@gmail.com).....14
3. Об особенностях учета электроэнергии на горных предприятиях при работе потребителей, оснащенных частотными преобразователями напряжения  
Адамова Л.С.\* (МГРИ, adamovals@mgrid.ru), Соловьев А.М. (МГРИ, solovevam@mgrid.ru).....18
4. Выбор калориферной установки для подземной горной выработки в условиях низких температур  
Армишева Д.В.\* (МГРИ), Меркулов М.В. (МГРИ, mvm.07@mail.ru), Башкуров А.Ю. (МГРИ, bashkurov\_A@inbox.ru).....21
5. К вопросу освоения лимногенных месторождений полезных ископаемых  
Буянов М.И.\* (МГРИ, buyanov08@mail.ru), Рассказов А.А. (РУДН, rasskazo@yandex.ru), Горбатов Е.С. (ИФЗ РАН, e.s.gor@mail.ru), Кочкина Е.В. (ООО «УК «ГУ ПО «Возрождение», elizaveta-kochkina00@rambler.ru).....24
6. Рейтинг массива SMR (Slope Mass Rating) для откосов  
Величко Д.В.\* (МГРИ им. Серго Орджоникидзе, velichkodv@mgrid.ru), Дронов А.Н. (АНО Аудит недропользования и консалтинг, veutel@mail.ru), Пименова А.В. (МГРИ им. Серго Орджоникидзе, pimenovaav@mgrid.ru).....29
7. Нейронные сети и возможности их применения для анализа пространственных геологических данных  
Гришков Г.А.\* (ИГЕМ РАН, г. Москва, gorgulini@yandex.ru), Устинов С.А. (ИГЕМ РАН, г. Москва, ustinov@igem.ru), Нафигин И.О. (ИГЕМ РАН, г. Москва, nafigin@igem.ru), Петров В.А. (ИГЕМ РАН, г. Москва, vlad243@igem.ru).....33
8. Перспективы освоения глубоководных минералогенических осадков дна Мирового океана  
Дробаденко В. П.\* (МГРИ, drobadenko@mail.ru), Вильмис А. Л. (МГРИ, vilmisal@mgrid.ru) Луконина О. А. (МГРИ, lu\_19-12@mail.ru).....37
9. Инновационные технологии для добычи ценного кристаллосырья  
Ефремовцев Н.Н.\* (Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В. Мельникова Российской академии наук, poee7@mail.ru).....41
10. Некоторые положения выбора выемочно-погрузочного оборудования и высоты уступа при разработке месторождений  
Жабборов О.И.\* (Навоийский ГМК, Узбекистан, OI.Jabborov@ngmk.uz), Куролов А.А. (Навоийский ГМК, Узбекистан, a\_kurolov@ngmk.uz), Тухташев А.Б. (НГГИ, Узбекистан, a.tukhtashev79@mail.ru).....45
11. Основные факторы выбора техники и технологии отработки мелкомасштабных маломощных месторождений Ауминзо-Амантайтауского рудного поля  
Жабборов О.И.\* (Навоийский ГМК, Узбекистан, OI.Jabborov@ngmk.uz) Куролов А.А. (Навоийский ГМК, Узбекистан, a\_kurolov@ngmk.uz), Тухташев А.Б. (НГГИ, Узбекистан, a.tukhtashev79@mail.ru).....48
12. Изучение изменения фильтрационных характеристик скважин Северо-Ставропольского подземного хранилища газа в хадумском горизонте по данным газогидродинамических исследований  
Жулин Н.Д.\* (Северо-Кавказский федеральный университет, pr0sto.ts@yandex.ru), Ерёмкина Н.В. (Северо-Кавказский федеральный университет yegiominasai@mail.ru), Киселева Т.С. (Северо-Кавказский федеральный университет tatiana.camellia@yandex.ru).....52
13. Исследование потенциала и эффективности применения возобновляемой энергии на горных предприятиях Республики Узбекистан  
Зохидов О.У.\* (Навоийский государственный горный институт, e-mail: odil\_boss85@mail.ru), Меркулов М.В. (Российский государственный геологоразведочный университет (РГГРУ-МГРИ), e-mail: mvm.07@mail.ru).....57



14. Расчет изменения параметров физико-механических свойств грунтов в процессе щитовой проходки тоннеля на примере объекта метростроя  
Иляхин С.В. (МГРИ, isv11@mail.ru).....62
15. Обоснование для расчета объема и веса грунтовой массы, извлеченной из забоя при щитовой проходке тоннелей метро  
Иляхин С.В. (МГРИ, isv11@mail.ru).....68
16. Анализ мест образования пыли при производстве массовых взрывов на открытых горных работах  
Иляхин С.В.\* (МГРИ, isv11@mail.ru), Янсайтова Г.Р (МГРИ, gulsiya.yansaitova@mail.ru).....73
17. Дезинтеграция глинистых пород при гидротранспортировании  
Клочков Н.Н.\* (МГРИ, klochkovnn@mgrid.ru) Пятова Н.Е. (МГРИ, pyatovane@mgrid.ru).....78
18. Разработка аэромобильной технологии экспресс-анализа гранулометрического состава разрушенных горных пород  
Комаров Е.И. (МГРИ, e.i.komarov@rambler.ru), Митрушина А.С.\* (МГРИ, mitrushina-98@mail.ru).....82
19. Геоинформационные технологии ПО  
Котова Е.Ю.\* (ФГБУ «ВИМС», kotova@vims-geo.ru).....85
20. К вопросу о подходе к цифровым технологиям при развитии минерально-сырьевых баз  
Кузьмин М.Б.\* (ИПКОН РАН, krasavin\_08@mail.ru), Красавин А.Г. (ИПКОН РАН, krasavin\_08@mail.ru), Усова Т.Ю. (ИМГРЭ, krasavin\_08@mail.ru), Рыжова Л.П. (МГРИ, kafedra520@mail.ru).....88
21. Основные методы определения расчетных нагрузок буровых установок при ведении геологоразведочных работ  
Ломаев С.С.\* (МГРИ, serrega300491@mail.ru), Головин С.В. (МГРИ, golovinsv@mgrid.ru), Меркулов М.В. (МГРИ, merkulovmv@mgrid.ru).....91
22. Анализ методов определения расходов жидкости конструкциями переменного перепада давления  
Некоз К.С.\* (МГРИ, nekozksy@mail.ru).....95
23. Методика оценки повторяемости геонавигационных моделей горизонтальных скважин  
Орлов Н.М.\* (РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, orlovnikitax@gmail.com), Казаков А.Д. (РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, kazakov.andrew2016@yandex.ru), Сребродольская М.А. (РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, mary\_roza@bk.ru).....98
24. «Обоснование целесообразности разработки угольных месторождений в арктической зоне Чукотской автономной области»  
Петрунин А.М.\* (Санкт-Петербургский горный университет, ampetrunin@yandex.ru), Решетняк С.П. (Санкт-Петербургский горный университет).....102
25. Совершенствование модели Лихтеннекера для определения теплопроводности пород-коллекторов  
Пичугин З.А. (Сколковский институт науки и технологий, zakhar.pichugin@skoltech.ru), Калинина М.С. (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), kalininamaryia@gmail.com), Рудаковская С.Ю. (ООО "Арктик-ГЕРС", ru@arctic-gers.ru), Савельев Е.Г. (Сколковский институт науки и технологий, e.savelev@skoltech.ru).....107
26. Исследование формирования и эксплуатации буферных и поверхностных складов при автомобильно-конвейерном транспорте  
Равшанов А.Ф.\* (Навоийский ГМК, Узбекистан, otash-fire@mail.ru), Зарипов О.Г. (Навоийский ГМК, Узбекистан, OI.Jabborov@ngmk.uz), Куролов А.А. (Навоийский ГМК, Узбекистан, a\_kurolov@ngmk.uz).....111
27. Формирование разносортных складов для повышения эффективности работы круто-наклонного конвейера в карьере Мурунтау  
Равшанов А.Ф.\* (Навоийский ГМК, Узбекистан, otash-fire@mail.ru), Куролов А.А. (Навоийский ГМК, Узбекистан, a\_kurolov@ngmk.uz), Зарипов О.Г. (Навоийский ГМК, Узбекистан, OI.Jabborov@ngmk.uz).....114
28. Изменение сменной производительности экскаваторно-автомобильного комплекса при интенсивном углублении карьера  
Ражабов Э.Х.\* (Навоийский ГМК, Узбекистан, otash-fire@mail.ru), Куролов А.А. (Навоийский ГМК, Узбекистан, a\_kurolov@ngmk.uz), Жабборов О.И. (Навоийский ГМК, Узбекистан, OI.Jabborov@ngmk.uz).....116
29. Основные влияющие факторы на повышение эффективности экскаваторно-автомобильного комплекса  
Ражабов Э.Х.\* (Навоийский ГМК, Узбекистан, EH.Rajabov@ngmk.uz).....118

30. Анализ технологий формирования штабелей минерального сырья для кучного выщелачивания  
Салахов И. Н.\* (МГРИ, salahovin@mgri.ru).....120
31. Повышение производительности подземного рудника диатомита в западном Алжире  
Абдессаттар Л.\* (Российский университет дружбы народов, РУДН e-mail: 1042178036@rudn.ru)  
Ереминко В.А. (Российский университет дружбы народов, РУДН, e-mail: eremenko@rudn.ru) Негурица Д.Л.  
(Российский государственный геологоразведочный университет, МГРИ, e-mail:  
neguritsadl@mgri.ru).....124
32. Исследование технологических особенностей открыто-подземной разработки нагорных месторождений  
Самадова Г.М. (НГГИ, Узбекистан, otash-fire@mail.ru), Таджиев Ш.Т.\* (НГГИ, Узбекистан, sh\_tadjiev@mail.ru),  
Куролов А.А. (Навоийский ГМК, Узбекистан, a\_kurolov@ngmk.uz).....129
33. Современные проблемы открыто-подземной разработке нагорных месторождений  
Таджиев Ш.Т.\* (НГГИ, Узбекистан, sh\_tadjiev@mail.ru) Куролов А.А. (Навоийский ГМК, Узбекистан,  
a\_kurolov@ngmk.uz), Жабборов О.И.\* (Навоийский ГМК, Узбекистан, OI.Jabborov@ngmk.uz).....133
34. Исследование способа извлечения дополнительной руды при системе разработки с магазинированием в  
отработанных блоках  
Тошпулатов Ш.Т.\* (Навоийский ГМК, Узбекистан, Sh.Toshpulatov@ngmk.uz) Куролов А.А. (Навоийский ГМК,  
Узбекистан, a\_kurolov@ngmk.uz), Жабборов О.И. (Навоийский ГМК, Узбекистан, OI.Jabborov@ngmk.uz)....136
35. Условия применимости этажной системы разработки урановых рудных залежей с фильтрационной  
неоднородностью  
Халимов И.У.\* (Навоийский государственный горный институт, Республика Узбекистан, г.Навои  
halimov\_i@bk.ru), Рустамов Р.Р. (Навоийский государственный горный институт, Республика Узбекистан,  
г.Навои), Абдуганиев Ф.Ш. (Навоийский государственный горный институт, Республика Узбекистан,  
г.Навои), Аликулов А.Я. (Навоийский государственный горный институт, Республика Узбекистан,  
г.Навои).....138
36. Повышение эффективности рудничных компрессорных установок на основе совершенствования их систем  
охлаждения  
Хатамова Д.Н.\* (Навоийский государственный горный институт, e-mail: dilyon\_hat@bk.ru), Меркулов М.В.  
(Российский государственный геологоразведочный университет (РГГРУ-МГРИ), e-mail: mvm.07@mail.ru),  
Джураев Р.У. (Навоийский государственный горный институт, e-mail: r.u.djuraev@yandex.ru).....142

#### СЕКЦИЯ «БУРЕНИЕ СКВАЖИН»

37. Review of application of materials for controlling and preventing lose circulation on water-based muds  
M.A.T.S. Al-Shargabi<sup>1</sup>, National Research Tomsk Polytechnic University al\_shargabi@tpu.ru. A.H.A. Al-Musai<sup>1</sup>,  
Petronas Technological University, ameen1778@gmail.com.).....147
38. Анализ эффективности использования интеллектуальных скважин в бурении на Ватинском  
месторождении  
Холиков И.Х.\* Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе  
(МГРИ) islom.kholikov24@mail.ru. Научный руководитель: д.т.н., профессор Соловьев Н.В.....151
39. Распараллеливание действий роботов при СПО  
Крылков М.Ю. (МГРИ, m.krylkov@mail.ru).....155
40. Application of Artificial Neural Network to predict Rate of Penetration during drilling operation for several wells  
in Nam Rong – Doi Moi oil field, Vietnam.  
Tien Hung Nguyen, Hong Duong Vu (Hanoi University of Mining and Geology,  
nguyentienhung.dk@humg.edu.vn).....160
41. Автоматизация процесса измерения глубины скважин  
Азмамбетова Э.А.\* (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, azmambetova.elvina@yandex.ru ), Алимова М.М. (РГГРУ  
им. Серго Орджоникидзе, munisaalimova999@gmail.ru), Овезов Б.А. (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе,  
ovezovba@mgri.ru), Соловьев Н.В. (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, solovyevnv@mgri.ru).....164
42. Разработка параметров оперативной диагностики газонефтеводопроявлений при бурении скважин  
Акыев Г. М.\* (Российский Государственный Геологоразведочный Университет имени Серго Орджоникидзе,  
g.akyyev@gmail.com).....168

43. Угроза катастрофических выбросов метана в Восточно-Сибирском море и море Лаптевых (Арктика) – телеметрическая сейсморазведка для глубинных и инженерных сейсмических исследований  
Астаскевич А.И.\* (МГРИ, astaskevich.alya@mail.ru) Соловьёв Н.В. (МГРИ, solovyev@mgri.ru), Щербаклова К.О. (МГРИ, sherbakovak@mgri.ru).....172
44. Разработка геофизического прибора нейтронного каротажа с аппаратурой для возбуждения и остановки реакции синтеза  
Бойко А.М.\* (МГРИ, anna.maksimovna.b@gmail.com), Соловьёв Н.В. (МГРИ, solovyevnv@mgri.ru), Щербаклова К.О. (МГРИ, sherbakovak@mgri.ru).....175
45. Совершенствование технологии изоляции интервалов поглощений с применением профильных перекрывателей при бурении скважин.  
Д. Д Сахатов., д.т.н., профессор Н.В Соловьёв. Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ) dovran.sahatov@mail.ru ).....179
46. Научные основы управления режимами бурения гидрофицированных буровых установок с гибридной схемой подключения модифицированной регулировочной аппаратуры с переменными характеристиками  
Завацки С. (МГРИ, One-up@mail.ru), Маляренко Е.А.\* (МГРИ, malyarenkoea@mgri.ru).....182
47. Особенности бурения горизонтальных скважин на Ромашкинском месторождении  
Залбеков М.Я.\* (РУДН, zalbekov-muslim@mail.ru), Щерба В.А. (МГРИ, shcherba\_va@mail.ru).....187
48. Компьютерное моделирование эффективной промывки горизонтальных скважин  
Казак В.В.\* (МГРИ, isuperc86@yandex.ru), Соловьёв Н.В.(МГРИ, solovyevnv@mgri.ru).....191
49. Аппаратный комплекс для увеличения количества передаваемой информации в процессе бурения  
Календарова Л.Р.\* (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, kalendarova.leyli@mail.ru), Чекалов А.Ю. (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, aychekalov@gmail.com), Овезов Б.А. (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, ovezovba@mgri.ru), Соловьёв Н.В. (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, solovevnm@mgri.ru).....194
50. Исследование перспективных тампонажных смесей с добавлением углеродных материалов для крепления скважин.  
Ковальчук В.С.\* (Санкт-Петербургский горный университет, vlada.1995@inbox.ru), Николаев Н.И. (Санкт-Петербургский горный университет, nikinik@mail.ru).....199
51. Методика определения рабочих характеристик винтовых забойных двигателей при проектировании оборудования для бурения нефтяных и газовых скважин  
Арсентьев Ю. А., (Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе, , arsentev1956@yandex.ru, доцент.) Назаров А.П., (Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе, al.naz@mail.ru, доцент.) Козлов Н.С.\*. (Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе, ООО «Газпром проектирование», Московский филиал, ptkzlv@gmail.com, студент РТБ-16) Иванов Д.А.,(компания «Weatherford», dexhouse@ya.ru, инженер по бурению) Нгуен Тиен Хунг, Ханойский горно-геологический университет, rggu1@gmail.ru, доцент).....203
52. Развитие отечественных LWD-технологий. Разработка наддолотного модуля  
Кононенко Л.П.\* (МГРИ, levkononenko777@gmail.com), Соловьёв Н.В. (МГРИ, solovyevnv@mgri.ru), Овезов Б.А. (МГРИ, ovezovba@mgri.ru).....208
53. Повышение коррозионной стойкости тампонажных материалов в условиях сероводородной агрессии  
Курамшина Э.Р.\* (РГГРУ имени Серго Орджоникидзе, evelina.kuramshina.02@gmail.com), Овезов Б.А. (РГГРУ имени Серго Орджоникидзе, ovezovba@mgri.ru), Соловьёв Н.В. (РГГРУ имени Серго Орджоникидзе, solovyevnv@mgri.ru).....212
54. Усовершенствование системы утилизации и переработки буровых отходов в нефтегазодобывающей промышленности  
Лапыкина А.А.\* (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, lapykinaakina@gmail.com), Чекалов А.Ю. (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, aychekalov@gmail.com), Щербаклова К.О. (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, sherbakovak@mgri.ru), Соловьёв Н.В. (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, solovyevnv@mgri.ru).....215
55. Один из способов снижения самозаклинивания керна  
Муратова М.И.\* (ТашГТУ, muratovlazzikhon@mail.ru).....218

56. Анализ современных методов предупреждения и ликвидации поглощений бурового раствора при бурении скважин  
Мустафаев О.Б.\* (Навоийский государственный горный институт, e-mail: strong0185@mail.ru), Меркулов М.В. (Российский государственный геологоразведочный университет (РГГРУ-МГРИ), e-mail: mvm.07@mail.ru), Джураев Р.У. (Навоийский государственный горный институт, e-mail: r.u.djuraev@yandex.ru).....222
57. Методика прогнозирования параметров естественного искривления наклонных интервалов скважин  
Назаров А.П.\* (МГРИ, alexpnazarov@yandex.ru).....227
58. «ПанакСис» - программное обеспечение для обеспечения безопасности морских буровых платформ в Арктике.  
Нестеренко С.Ю.\* (МГРИ, Nesterenko-SY@yandex.ru).....232
59. Исследование влияния магнитных возмущений в процессе бурения наклонно- направленных скважин (iMAG)  
Овезов Б.А.\* (МГРИ, ovezovba@mgi.ru ), Соловьев Н.В. (МГРИ, solovyevnv@mgi.ru ).....235
60. Цементирование эксплуатационной наклонно-направленной скважины при высокой температуре  
Орленкова Е.В. (МГРИ, evaorlenkova@yandex.ru), Щербаклова К.О. (МГРИ, sherbakovak@mgi.ru).....239
61. Вопросы контроля процесса цементирования направлений скважин с подводным расположением устья  
Потапов А.В.\* (РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Potapov\_Andrew@bk.ru).....242
62. Восстановление продуктивности скважин путем строительства боковых стволов  
Рогов Е.А. (ООО «Газпром ВНИИГАЗ», Rogov.gea@yandex.ru), Контарев А.А. (ООО «Газпром ВНИИГАЗ», Alexeykontareff@mail.ru).....245
63. Отбор представительного керна из пологих и горизонтальных скважин при разведке и разработке месторождений комплексного сырья  
Сапожков А.А.\* (ФГБОУ«Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» 23, e-mail: sapozhkovartem@mail.ru).....250
64. Исследование смятия обсадных колонн в соленосных горных породах  
Сырчина А.С.\* (МГРИ, syrchinaas@mgi.ru), Ганджумян Р.А. (МГРИ, gandzhumyanra@mgi.ru), Попов В.О. (МГРИ, popovvo@mgi.ru).....252
65. Механизм коррозии внутрискважинного оборудования в кислотной среде  
Сырчина А.С.\* (МГРИ, syrchinaas@mgi.ru).....256
66. Вынос шлама горизонтальным потоком промывочной жидкости  
Тунгусов С.А.\* (МГРИ, tungusov\_sa@mail.ru).....260
67. Проблемы в создании супрамолекулярных систем технологических жидкостей для регулируемого управления их свойствами  
Щербаклова К.О.\* (МГРИ, sherbakovak@mgi.ru ), Соловьев Н.В. (МГРИ, solovyevnv@mgi.ru ).....263

#### СЕКЦИЯ «МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАЗВЕДочНАЯ ГЕОФИЗИКА»

68. Инверсия 3D полевых данных геоэлектрики аппроксимационным нейросетевым методом  
Родионов Е.А.\* (МГРИ, evgeny\_980@list.ru), Шимелевич М.И. (МГРИ, shimelevich-m@yandex.ru), Оборнев И.Е.\* (НИИЯФ МГУ, МГРИ, obornevie@mgi.ru), Оборнев Е.А. (МГРИ, obornevea@mail.ru), Фельдман И.С. (ООО ЕМГео, mail@emgeo.com).....266
69. Методика работ и поисковые признаки золотого оруденения  
Апарин А.Д.\* (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, aragin\_ad@mail.ru), Иванов А.А. (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе, ivanova@mgri.ru).....271
70. Оценка скорости деструкции нефтяного пятна на водной поверхности для некоторых деструктивных факторов на математической модели  
Афанасьева Н.О.\* (МГРИ, afanasievan@mgi.ru), Морочко А.Ф. (МГРИ, morochkoaf@mgi.ru).....275
71. Современные программы автоматической инверсии данных электротомографии  
Ашуров А.В.\* (РГГРУ(МГРИ) им. Серго Орджоникидзе, amindzhon.ashurov@mail.ru), Иванов А.А. (РГГРУ(МГРИ) им. Серго Орджоникидзе, ivanova@mgri.ru).....279

72. Интерпретация данных зондирования становлением поля в ближней зоне (метод ЗСБ) при поисках подземных вод в Оазисе Эль-Бахария, Западная Пустыня, Египет  
Гавеиш В. Р.\* (Национальный исследовательский институт астрономии и геофизики (NRIAG), wael\_ragab2007@yahoo.com) Мараев И.А. (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (РГГРУ), igorech@rambler.ru).....284
73. Определение композиционного состава и количественного соотношения минеральных фаз хромитов с применением метода ядерного гамма резонанса  
Ерин Д.В.\* (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ), e-mail:dmerin@yandex.ru), Медведев А.А. (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ), e-mail:medvedevaa@mgrid.ru), Посеренин А.И. (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ), e-mail: posereninai@mgrid.ru).....288
74. Оценка теплопроводности карбонатных коллекторов на основе теории эффективных сред  
Калинина М.С.\* (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), kalininamariya@gmail.com), Пичугин З.А. (Сколковский институт науки и технологий, zakhar.pichugin@skoltech.ru), Рудаковская С.Ю. (ООО "Арктик-ГЕРС", ru@arctic-gers.ru), Савельев Е.Г. (Сколковский институт науки и технологий, e.savelev@skoltech.ru).....293
75. Бесконтактные измерения в электроразведке методом сопротивлений; опыт математического моделирования  
Каринский А.Д.\* (МГРИ, akarinski@mail.ru), Кудина Я.О. (МГРИ, kudinayo@mgrid.ru), Матюшенко А.А. (МГРИ, anyamatyshenko@rambler.ru).....298
76. О применении технологий каротажа в процессе бурения (LWD) эксплуатационных скважин на северном шельфе Каспия при больших зенитных углах и горизонтальном бурении  
Кононенко Л.П.\* (МГРИ, levkononenko777@gmail.com), Зиновкин С.В. (МГРИ, zinsvl@gmail.com).....303
77. Планетарные причины изменения климата Земли  
Лобанов А.М.\* (МГРИ, lobannet@mail.ru), Иванов А.А. (МГРИ, ivanovaa@mgrid.ru), Белов А.П. (МГРИ, econg3@yandex.ru), Матюшенко А.А. (МГРИ, anyamatyshenko@rambler.ru).....307
78. Исследования магнитной восприимчивости почвенного покрова территории золоторудного месторождения Вьюн (Республика Саха-Якутия)  
Мишанькин А.Ю.\* (Национальный исследовательский Томский политехнический университет, andreuka.mishankin@mail.ru), Язиков Е.Г. (Национальный исследовательский Томский политехнический университет, yazikoveg@tpu.ru), Филимонок Е.А. (Тюменский государственный университет, eafilimonenko@mail.ru).....312
79. Алгоритмы классификации многомерных наблюдений в задачах районирования территории по данным гравиразведки и магниторазведки  
Муфазалова Р.И.\* (МГРИ, mufazalova.rimma@mail.ru), Петров А.В. (МГРИ, petrovstud@mail.ru), Фан Т. Х. (МГРИ, Ханойский горно-геологический университет Вьетнама, phanthihong@humg.edu.vn).....316
80. Примеры применение нейронных сетей в нелинейных обратных задачах геофизики  
Оборнев И.Е.\* (НИИЯФ МГУ, МГРИ, o\_ivano@mail.ru), Шимелевич М.И. (МГРИ, shimelevich-m@yandex.ru), Оборнев Е.А. (МГРИ, obornevea@mail.ru), Родионов Е.А. (МГРИ, evgeny\_980@list.ru).....320
81. Использование геоэлектрической томографии при геокриологическом мониторинге теплового влияния водного бассейна водохранилища на криогенное состояние многолетнемерзлых грунтов берегового примыкания  
Поезжаев О.С.\* (ВНИМС ИМЗ СО РАН, opezhaev@gmail.com), Минова Е.Н. (ВНИМС ИМЗ СО РАН, minovaen14@mail.ru), Вавилов С.А. (ВНИМС ИМЗ СО РАН, rg413el@gmail.com).....325
82. Инженерная сейсморазведка при картировании известняков касимовского яруса Московского артезианского бассейна  
Романов В.В.\* (МГРИ, romanovvv@mgrid.ru).....329
83. Построение комбинированной нейронной сети для прогнозирования землетрясений по временным рядам сейсмических данных на примере полуострова Камчатка и Командорских островов  
Рыжов В.Л.\* (МГРИ, vladislavrzhv@gmail.com), Научный руководитель: Оборнев Е.А. (МГРИ, obornevea@mail.ru).....332
84. Теоретические аспекты применения геоинформационных систем в сфере мониторинга земель  
Самоенко А.И.\* (обучающийся, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ), samoenko08@rambler.ru), Калинин А.Р. (профессор кафедры Экономики минерально-сырьевого комплекса, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ), kalinal@yandex.ru).....335

85. Исследования применения алгоритма двумерной фильтрации в скользящих окнах «живой» формы. Применение в центральной области Вьетнама  
Фан Т. Х.\*(МГРИ, Ханойский горно-геологический университет Вьетнама, phanthihong@humg.edu.vn),  
Петров А. В. (МГРИ, petrovstud@mail.ru), До М.Ф. (МГРИ, Главного управления геологии и полезных ископаемых Вьетнам, dominhphuong.dkt@gmail.com).....339

**СЕКЦИЯ «ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ  
ГОРНОГО И НЕФТЕГАЗОВОГО ДЕЛА»**

*О целесообразности применения прямопоисковых геофизических методов для  
обнаружения и локализации зон скопления и миграции водорода*  
**Якимчук Н.А.** (Институт прикладных проблем экологии, геофизики и геохимии,  
*yakutchuk@gmail*),  
**Корчагин И.Н.\*** (Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины,  
*korchagin.i.n@gmail.com*)

**Аннотация**

Результаты инструментальных измерений свидетельствуют, что на площадях и участках расположения базальтовых вулканов с корнями на различных глубинах практически всегда регистрируются сигналы на частотах водорода. При сканировании разреза отклики от водорода фиксируются от верхних кромок базальтовых вулканов до их корней. Можно предположить, что базальтовые вулканы являются своего рода каналами, по которым происходит миграция водорода в верхние горизонты разреза и дальше в атмосферу. В пределах многих базальтовых вулканов на глубине 68 км осуществляется синтез глубинной (живой) воды. Обогащенная водородом вода является целебной и может быть использована для оздоровительных целей.

**Ключевые слова**

Водород, базальты, доломиты, мергели, вулкан, прямые поиски

**Теория**

Экспериментальные исследования рекогносцировочного характера проводятся с использованием мало-затратной прямопоисковой технологии, включающей модифицированные методы частотно-резонансной обработки и декодирования спутниковых снимков и фотоснимков, вертикального электрорезонансного зондирования (сканирования) разреза и методики интегральной оценки перспектив нефтегазоносности (рудноносности) крупных поисковых блоков и локальных участков [3]. В основе отдельных методов мобильной технологии лежат обнаруженные Николой Тесла в 1899 г. стоящие электрические волны. Обработка спутниковых снимков и фотоснимков осуществляется с использованием в качестве образцов резонансных частот пород (осадочных, метаморфических, магматических - <http://rockref.vsegei.ru/petro/>), нефти, конденсата, газа, рудных полезных ископаемых и химических элементов. Особенности и возможности использованных методов, а также методика проведения измерений описаны более детально в [4-5].

Акцентируем внимание на отличительную особенность разрабатываемых прямопоисковых частотно-резонансных методов. В отличие от классических геофизических, используемые методы предоставляют возможность в каждом конкретном случае наполнять изучаемый разрез присутствующими в нем комплексами осадочных, метаморфических и магматических пород, а также определять в первом приближении (и уточнять на этапах детализации) интервалы разреза, перспективные на обнаружение горючих и рудных полезных ископаемых, сразу, в процессе проведения измерений (регистрации сигналов) разработанными аппаратурно-измерительными

устройствами (т.е. без дополнительных этапов моделирования и геологической интерпретации результатов инструментальных измерений). В настоящей сообщении, а также в других опубликованных материалах акцент делается, в основном, на представление результатов измерений.

Мобильная прямопоисковая технология апробирована на участках водородной дегазации в различных регионах земного шара. Ниже представлены результаты ее применения на поисковой площади в Калмыкии.

### Район проведения поисковых работ в Калмыкии

В документе на сайте [2] приводятся сведения о поисковых работах на нефть и газ на Хаптагайской площади в Калмыкии. В процессе анализа спутникового снимка площади работ (рис. 1а) в ее пределах была обнаружена локальная зона с особенностями, характерными для участков водородной дегазации (рис. 1б). Это обстоятельство послужило одной из причин проведения на участке расположения этой зоны экспериментальных исследований рекогносцировочного характера. Дополнительно выполнена также интегральная оценка перспектив нефтегазоносности Хаптагайской поисковой площади. Основные задачи оперативно проведенных исследований: 1) подтверждение инструментальными измерениями фактов миграции водорода в атмосферу на участке обследования; 2) обнаружение участков (интервалов) возможного скопления водорода в породах (коллекторах) разреза; 3) оценка глубины залегания в разрезе обогащенной водородом (целебной) воды. В рекогносцировочном режиме проведена частотно-резонансная обработка фрагмента снимка зоны дегазации (рис. 1б), а также площади проведения поисковых работ (рис. 1а).



а)



б)

**Рисунок 1.** Спутниковые снимки территории Калмыкии, в пределах которой расположена площадь проведения поисковых работ на нефть и газ (а) и зона водородной дегазации (б).

**Зона водородной дегазации.** В процессе частотно-резонансной обработки фрагмента снимка зоны (рис. 1б) с поверхности зарегистрировали отклики от фосфора (белого), водорода и воды глубинной (живой). Зафиксированы сигналы от 8-ой группы осадочных пород (доломиты) и 6-ой группы магматических пород (базальты). Фиксацией откликов на различных глубинах (50, 150, 450, 550, 470 км) корень базальтового вулкана определен на глубине 470 км. Сканированием разреза с поверхности, шаг 1 м верхняя кромка базальтов зафиксирована на глубине 200 м. На поверхности 200 м из верхней части разреза получены отклики от доломитов и водорода; из нижней части сигналы от доломитов отсутствовали. При сканировании разреза с 200 м, шаг 10 см сигналы от водорода из базальтов начали фиксироваться с 212 м, а от воды – с 223 м. Сканированием разреза с поверхности до 200 м, шаг 10 см отклики от водорода из мергелей зафиксированы в интервале 104-150 м. На поверхности 100 м отклики от водорода из верхней части разреза отсутствовали. На поверхности 0 м из верхней части

разреза получены сигналы от водорода и фосфора, что свидетельствует об их миграции в атмосферу. На поверхности 68 км зафиксированы отклики от глубинной (живой) воды.

Представленные выше результаты инструментальных измерений позволяют констатировать, что в пределах участка обследования целесообразно провести дополнительные (детальные) исследования с целью оценки целесообразности организации мероприятий по добыче водорода, а также обогащенной водородом (целебной) воды.

*Площадь проведения поисковых работ.* В процессе обработки снимка крупного участка поисков углеводородов (рис. 1а) с поверхности зарегистрированы отклики от нефти, конденсата, газа, янтаря, углекислого газа, жидкого углекислого газа, фосфора (белого), горючего сланца, брекчии аргиллитовой, газогидратов, льда, угля, антрацита, водорода, воды глубинной (живой), воды мертвой, бурого угля, золота. В разрезе участка зафиксировано наличие соли натрий-хлористой, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8 (доломиты), 9 (мергели) и 10 (кремнистые) групп осадочных пород, а также 1 (граниты), 2, 3, 4, 5, 6 и 11 (кимберлиты) групп магматических пород. Слабая «интенсивность» откликов от 11-ой группы позволила предположить о наличии в разрезе только нескольких пород из этой группы. При фиксации откликов от отдельных образцов группы сигналы получены только от образца лампроит лейцит-флогопитовый.

Фиксацией откликов на различных глубинах определены корни следующих вулканов: соляного – 470 км; доломитового – 98 км; кремнистых пород – 98 км; мергелей – 723 км; гранитов – 470 км; кимберлитов – 723 км. Отметим при этом, что отклик от лампроита лейцит-флогопитового из группы кимберлитов получен также на глубине 723 км! На поверхности синтеза УВ 57 км зафиксированы отклики от нефти, конденсата, газа, янтаря, углекислого газа, фосфора, водорода, воды живой. При сканировании разреза с поверхности, шаг 50 см отклики от воды начали фиксироваться с 440 м. Сканированием разреза с поверхности, шаг 50 см отклики от нефти получены из двух интервалов поисков - 230-900 м и 1450-3000 м. Глубже сканирование не проводилось.

В целом, результаты рекогносцировочных исследований свидетельствуют о перспективности Хаптагайской поисковой площади в Калмыкии на обнаружение залежей углеводородов.

## **Выводы**

Результаты экспериментальных работ на участке водородной дегазации в Калмыкии, а также в других регионах мира позволяют констатировать следующее.

На площадях и участках расположения базальтовых вулканов с корнями на различных глубинах практически всегда регистрируются сигналы на частотах водорода с поверхности.

При сканировании разреза отклики от водорода фиксируются практически от верхних кромок базальтовых вулканов до их корней. Эта особенность позволяет предположить, что базальтовые вулканы могут быть своего рода каналами, по которым осуществляется активная миграция водорода в верхние горизонты разреза и дальше в атмосферу.

В некоторых типах базальтовых вулканов на глубине 68 км происходит синтез воды глубинной (живой). Обогащенная водородом вода является целебной и может быть использована для оздоровительных целей. Отметим также, что все обследованные зоны и участки долгожительства на Земле расположены в пределах (контурах) базальтовых вулканов, в которых синтезированная на глубине 68 км вода мигрирует к поверхности и используется для водоснабжения и питьевых целей.

Приведенные выше результаты, а также материалы многочисленных экспериментальных работ, выполненных с использованием разработанной измерительной аппаратуры, являются важными аргументами в пользу «вулканической» модели [1] формирования многих структурных элементов Земли, а также месторождений горючих и рудных полезных ископаемых (водорода и воды в том числе).

Принципиально важным следует считать то обстоятельство, что проведенными экспериментальными исследованиями на многочисленных участках показана возможность (и целесообразность) использования прямопоисковых частотно-резонансных методов обработки и интерпретации спутниковых снимков и фотоснимков для обнаружения и локализации участков скопления водорода, а также определения глубин залегания его прогнозируемых залежей. В дальнейших исследованиях в этом направлении целесообразно обратить внимание на типы коллекторов, в которых водород может накапливаться, а также породы-покрышки, которые будут способствовать сохранению залежей. Целесообразность применения прямопоисковых методов в геологоразведочном процессе демонстрируется также результатами их апробации, опубликованными в статьях [3-5].

## **Библиография**

1. Багдасарова М.В. Дегазация Земли - глобальный процесс, формирующий флюидогенные полезные ископаемые (в том числе месторождения нефти и газа). Электронный журнал «Глубинная нефть». 2014. №10. С.1621-1644.
2. Поиски газа и нефти на Хаптагайском участке в Калмыкии завершатся к апрелю 2021 г. <https://neftegaz.ru/news/Geological-exploration/651920-poiski-gaza-i-nefti-na-khaptagayskom-uchastke-v-kalmykii-zavershatsya-k-aprelyu-2021-g/>
3. Якимчук Н.А., Корчагин И.Н., Бахмутов В.Г., Соловьев В.Д. Геофизические исследования в Украинской морской антарктической экспедиции 2018 г.: мобильная измерительная аппаратура, инновационные прямопоисковые методы, новые результаты. Геоинформатика. 2019. № 1. С. 5-27.
4. Якимчук Н.А., Корчагин И.Н., Левашов С.П. Прямопоисковая мобильная технология: результаты апробации при поисках скоплений водорода и каналов миграции глубинных флюидов, минерального вещества и химических элементов. Геоинформатика. 2019. № 2. С. 19-42.
5. Якимчук Н.А., Корчагин И.Н. Применение мобильных частотно-резонансных методов обработки спутниковых снимков и фотоснимков при поисках скоплений водорода. Геоинформатика. 2019. № 3. С. 19-28.

*Геологическое строение участка посадки марсохода NASA Perseverance на Марсе по результатам частотно-резонансной обработки спутниковых снимков  
Якимчук Н.А. (Институт прикладных проблем экологии, геофизики и геохимии, yakumchuk@gmail.com),*

*Корчагин И.Н.\* (Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины,  
korchagin.i.n@gmail.com)*

## **Аннотация**

Инструментальные измерения показали, что участок посадки марсохода расположен в пределах вулканической структуры, заполненной мергелями. На поверхности в зоне посадки обнаружены обломки кремнистых пород. В районе расположения кратера Jezero инструментальными измерениями установлено наличие в разрезе планеты 8-ми типов вулканов, заполненных 1) солью, и отдельными образцами из групп 2) известняки, 3) доломиты, 4) мергели, 5) кремнистые породы, 6) базальты, 7) ультрамафические породы и 8) кимберлиты. Обследование отдельных площадей планеты подтвержден факт наличия в ее составе только 27 известных на Земле химических элементов. Кислород отсутствует на Марсе.

## **Ключевые слова**

Марс, марсоход NASA Perseverance, водород, базальты, доломиты, мергели, вулкан

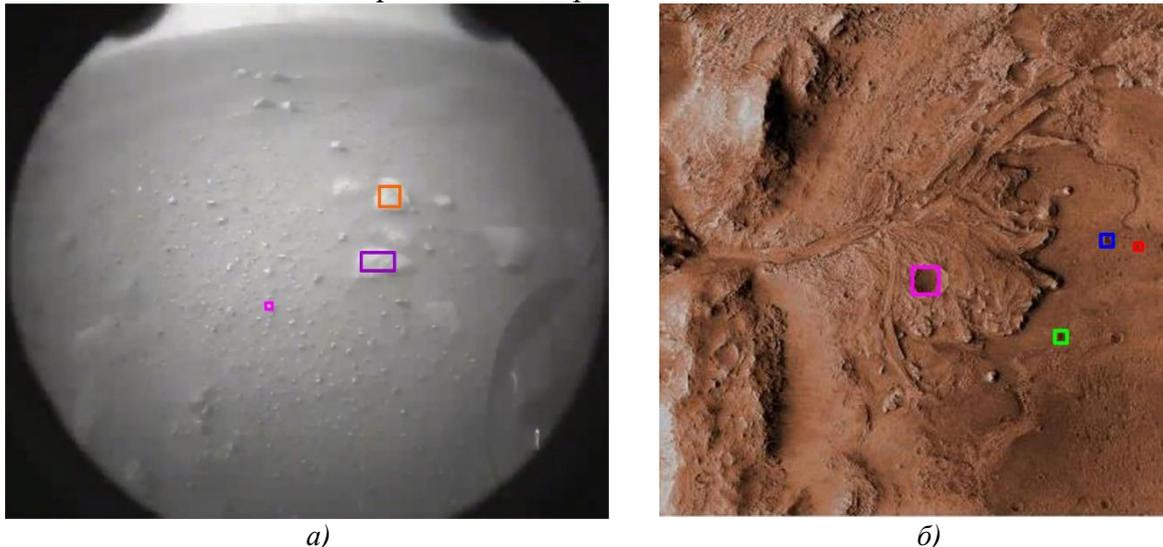
## **Теория**

Экспериментальные исследования на Земле, а также планетах и спутниках Солнечной системы проводятся с использованием прямопоисковой технологии, частотно-резонансной обработки и декодирования космоснимков, а также фотоснимков со спускаемых аппаратов и космических телескопов [2-5]. Отдельные компоненты технология разработаны на принципах «вещественной» парадигмы геофизических исследований, сущность которой заключается в поиске конкретного вещества. В основе разработанных методов лежат обнаруженные Николой Тесла в 1899 г. стоящие электрические волны. Отдельные ее методы активно используется в последнее время для изучения глубинного строения Земли и поисков скоплений углеводородов на начальных этапах геологоразведочного процесса, в том числе и для интегральной оценки перспектив нефтегазоносности крупных и труднодоступных блоков и площадей. Материалы апробации и практического применения мобильной технологии представлены во многих статьях и материалах конференций, в том числе и в [2-5]. В модифицированных версиях методов частотно-резонансной обработки спутниковых снимков и фотоснимков, а также вертикального зондирования (сканирования) разреза используются существующие базы (наборы, коллекции) пород. Коллекция образцов осадочных пород земного происхождения (зафиксированных в грязевых вулканах, при обработке на Земле) включает 10 групп, а метаморфических и магматических – 18 групп. Фотографии используемых в процессе проведения инструментальных измерений наборов образцов пород заимствованы с сайта <http://rockref.vsegei.ru/petro/>.

В статье [5] приведены материалы обследования участка посадки на Луне 1 декабря 2020 г. китайского лунного аппарата Chang'e 5. Ниже приводятся результаты исследований с использованием разработанной технологии места посадки марсохода NASA Perseverance в кратере Jezero на Марсе 18 февраля 2021 г.

## Локальный участок посадки марсохода

В процессе частотно-резонансной обработки первого снимка (рис. 1а) места посадки с марсохода NASA Perseverance [6] с использованием частот химических элементов, полезных ископаемых и образцов пород, традиционно используемых при проведении исследований на Земле, зарегистрированы сигналы (отклики) от водорода и осадочных пород 9-ой группы (мергелей). Из 10-ти образцов мергелей отклики зафиксированы только от одного из них – мергеля кремнистого. Из образца мергель кремнистый зафиксированы сигналы на частотах водорода, хлора и от комбинации хлора и водорода. От этого образца зафиксированы также слабые сигналы от железа, а также сигналы от комбинации хлор-железо-водород.



**Рисунок 1.** Снимок места посадки с марсохода NASA Perseverance в кратере Jezero на Марсе 18 февраля 2021 г. (а) [6] и спутниковый снимок кратера (б) [7].

При обработке снимка с поверхности зарегистрированы сигналы от водорода, дейтерия и хлора,

При обработке снимка на рис. 1 зафиксированы отклики на частотах железа, а также от комбинации химических элементов хлор-водород и хлор-железо-водород. При обработке локального фрагмента снимка на рис. 1 (верхний прямоугольник) зарегистрированы отклики только от одного образца 10-ой группы осадочных (кремнистых) пород – кремния халцедонового. Аналогичные результаты получены также при обработке фрагмента снимка на рис. 1 в центральном прямоугольнике, а также в самом маленьком, нижнем.

От образца кремний халцедоновый отклики получены от водорода, хлора, железа (интенсивный) и кобальта. Зарегистрированы также слабые сигналы от комбинации хлор-водород и интенсивные – от хлор-водород-железо.

При обработке снимка в центральном прямоугольнике получены отклики от водорода, хлора, кобальта и железа. В процессе дополнительной обработки всего снимка на рис. 1 зарегистрированы слабые отклики от образца кремний халцедоновый.

Проведена также обработка снимка поверхности Марса с марсохода при его приближении к месту посадки. При этом с поверхности зарегистрированы отклики от отдельных образцов 9-ой (мергели) и 10-ой (кремнистые) групп осадочных пород. В

процессе сканирования разреза с разными шагами отклики от мергелей зафиксированы с поверхности и прослежены до 295.6 км (корень вулкана мергелей). Сигналы от кремнистых пород получены только из интервала глубин 0-293 м.

### **Район посадки марсохода в кратере Jezero**

Фотоизображение района посадки марсохода, представленное на рис. 1б, заимствовано из сайта [7]. В процессе частотно-резонансной обработки снимка района посадки (рис. 1б) с поверхности зарегистрированы отклики от следующих химических элементов: водород, дейтерий, хлор (сразу), железо, кобальт, литий, бериллий, аргон, никель, калий, скандий, кальций, титан, гелий, хром, марганец, медь, ванадий, цинк, гелий, германий, мышьяк, селен, бром, бор, азот (слабый), натрий.

На обследованной площади зафиксированы сигналы от соли и отдельных образцов 8-ой (доломиты), 9-ой (мергели), 10-ой (кремнистые) групп осадочных пород, а также 6-ой (базальты), 7-ой (ультрамафические), 11-ой (кимберлиты) и 15-ой групп магматических пород.

На рис. 1б небольшими прямоугольниками обозначены контуры четырех вулканических построек, фрагменты спутникового снимка над которыми обработаны отдельно. При обработке фрагмента снимка в левом (самом крупном) прямоугольнике зарегистрированы отклики от отдельных образцов 8-ой группы осадочных пород (доломиты). Из всего набора образцов доломитов сигналы получены только от одного – доломита кавернозного. Обработкой фрагмента снимка в нижнем прямоугольнике в разрезе установлено наличие вулкана, заполненного отдельными образцами 10-ой (кремнистые), в верхнем прямоугольнике – 7-ой (известняки) и в самом правом – 9-ой (мергели) групп осадочных пород.

### **Выводы**

Проведенные экспериментальные исследования продемонстрировали, в первую очередь, принципиальную возможность использования данных дистанционного зондирования планет и спутников Солнечной системы (снимков с космических аппаратов, посадочных модулей и телескопов) для изучения внутреннего строения объектов исследования, а также состава присутствующих на них пород, минералов и химических элементов.

Результаты оперативно проведенных экспериментальных исследований предоставили возможность получить следующую информацию о геологическом строении места посадки марсохода в районе расположения кратера Jezero на Марсе.

1. Локальный участок посадки марсохода расположен в пределах вулканической структуры, заполненной мергелями. Из используемого набора образцов мергелей в разрезе на месте посадки установлено наличие только одного образца этих пород – мергеля кварцитового.

2. На участке посадки, на поверхности «разбросаны» обломки пород светлого цвета – кремния халцедонового. Можно предположить, что это обломки из расположенных в этом районе вулканических комплексов, заполненных кремнистыми породами (отдельные образцы 10-ой группы осадочных пород из используемой при проведении инструментальных измерений коллекции).

3. В районе расположения кратера Jezero инструментальными измерениями установлено наличие в разрезе планеты 8-ми типов вулканических построек, заполненных 1) солью и образцами из групп 2) известняки, 3) доломиты, 4) мергели, 5) кремнистые породы, 6) базальты, 7) ультрамафические породы и 8) кимберлиты.

4. При обследовании отдельных площадей планеты подтвержден факт наличия в ее составе только 27 известных на Земле химических элементов. К отсутствующим на Марсе химическим элементам принадлежит также кислород.

5. Отсутствие кислорода в составе Марса свидетельствует также о том, что на планете нет (и не было) воды, а, следовательно, и льда в полярных областях. Обнаружение в районе северного полюса Марса крупных вулканических комплексов, заполненных солью, можно считать дополнительным свидетельством в пользу отсутствия воды (а, следовательно, и льда) на планете.

6. Обнаружение на Марсе многочисленных вулканических комплексов, заполненных породами различного состава, можно считать важным аргументом в пользу вулканической модели [1] формирования внешнего облика планеты.

Оценивая результаты оперативно проведенных экспериментальных работ можно констатировать, что мобильная частотно-резонансная технология обработки спутниковых снимков и фотоснимков может быть использована для проведения детальных исследований на планетах и спутниках Солнечной системы в рамках крупных научных проектов их изучения.

## **Библиография**

1. Багдасарова М.В. Дегазация Земли - глобальный процесс, формирующий флюидогенные полезные ископаемые (в том числе месторождения нефти и газа). Электронный журнал «Глубинная нефть». 2014. №10. С.1621-1644.
2. Якимчук М.А., Корчагин І.М. Нові свідчення на користь абіогенного генезису вуглеводнів за результатами апробації прямопошукових методів в різних регіонах світу. Допов. Нац. акад. наук Укр. 2020. № 9. С. 55—62. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2020.09.055>
3. Якимчук М.А., Корчагин І.М. Результати застосування прямопошукових геофізичних методів для виявлення і локалізації зон скупчення та міграції водню в розрізах Землі і Місяця. Допов. Нац. акад. наук Укр. 2021. № 1. С. 65—76. <https://doi.org/10.15407/dopovidi2021.01.065>
4. Якимчук Н.А., Корчагин И.Н., Бахмутов В.Г., Соловьев В.Д. Геофизические исследования в Украинской морской антарктической экспедиции 2018 г.: мобильная измерительная аппаратура, инновационные прямопоисковые методы, новые результаты. Геоинформатика. 2019. № 1. С. 5-27.
5. Якимчук Н.А., Корчагин И.Н. О возможности применения технологии частотно-резонансной обработки спутниковых снимков и фотоснимков для изучения объектов солнечной системы и дальнего космоса. Геоинформатика. 2020. № 2. С. 98-108.
6. Марсохід NASA Perseverance сів на Марсі. <https://www.pravda.com.ua/news/2021/02/18/7283947/>

**Об особенностях учета электроэнергии на горных предприятиях при работе потребителей, оснащенных частотными преобразователями напряжения**

**Адамова Л.С.\* (МГРИ, [adamovals@mgri.ru](mailto:adamovals@mgri.ru)), Соловьев А.М. (МГРИ, [solovevam@mgri.ru](mailto:solovevam@mgri.ru))**

**Аннотация**

Нелинейные потребители вызывают искажения кривой напряжения в электрической сети. При этом погрешности измерения энергии, потребляемой тиристорными преобразователями, могут достигать 4-6%. Для решения этой проблемы могут использоваться активные или гибридные фильтры или быть реализованы специальные мероприятия по улучшению формы кривой сетевого тока.

**Ключевые слова**

Измерение, мощности, нелинейных, потребителей

**Теория**

На современных горных предприятиях все большее распространение получают системы электроприводов, оснащенные частотными преобразователями, вольт-амперные характеристики которых нелинейны. Такие изделия потребляют из сети ток, кривая которого оказывается несинусоидальной. В результате в электрической сети возникают искажения кривой напряжения. Это приводит к ряду неблагоприятных последствий, таких как: дополнительные потери на нагрев, ускоренное старение изоляции электрооборудования, негативное воздействие на системы релейной защиты, автоматики и телемеханики. Кроме того, осложняется учет потребленной электроэнергии.

Учет электроэнергии при несинусоидальных токах и напряжениях сопряжен со значительными погрешностями. Нелинейная нагрузка является источником высокочастотных гармоник. Поэтому при измерении мощности нелинейной нагрузки  $P_{нл}$  в сети действуют два встречных потока мощности: от основной частоты -  $P_1$  и от высокочастотных гармоник -  $\sum_{i=2}^n P_i$ . [2]

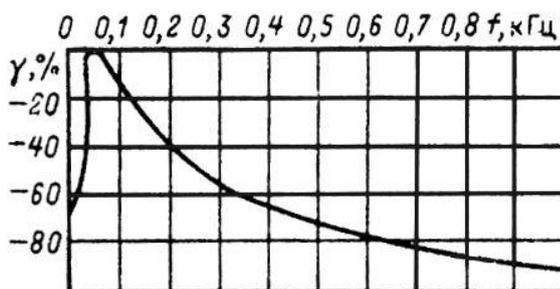
При использовании счетчиков с индукционной системой измерения, которые имеют значительное распространение, их работа не дает корректных результатов. Т.к. они имеют нелинейную измерительную цепь, расчет мощности в которой осуществляется по выражению [2]:

$$P_{нл} = P_1 - \sum_{i=2}^n P_i$$

Нелинейные преобразования для высокочастотных гармоник зависят не только от амплитуд токов и напряжений, и их фаз, но и от номеров гармоник и их последовательностей. Для индукционного счетчика на частоте  $i$ -той гармоники частотная характеристика (рис.1) аппроксимируется [2]:

$$\gamma_i = \alpha(\exp(-\beta \cdot i) - 1)$$

где  $\alpha=1,28$ ;  $\beta=1,19$ .



Частотная характеристика электрического счетчика.

Т.е. при нелинейных нагрузках имеет место «переучет» электроэнергии. Это приводит к возникновению недоразумений между энергоснабжающими организациями и потребителями при расчетах за электроэнергию. Практика показывает, что при значительном искажении напряжения ( $k_{НС} \sim 7-10\%$ ) погрешности измерения энергии, потребляемой тиристорными преобразователями, могут достигать 4-6%. Так же на практике выяснилось, что использование электронных счетчиков не может полностью исключать частотные погрешности из-за несинусоидальности, за исключением сложных измерительных систем, реализующих в своей работе быстрое преобразование Фурье. [3]

Для решения описанной выше проблемы могут использоваться активные или гибридные фильтры, которые значительно снижают уровень высокочастотных гармоник в сети. Однако они весьма дороги, поэтому решение вопроса снижения погрешности измерений мощности нелинейных потребителей возможно путем осуществления мероприятий по улучшению формы кривой сетевого тока.

Одним из перспективных способов улучшения кривой сетевого тока является компенсация высших гармоник магнитного потока трансформатора преобразователя, наложением 3, 9, 15 и высших гармоник более высокого порядка на токи обмоток трансформатора. При этом в третичной обмотке трансформатора преобразователя создается магнитодвижущая сила высших гармоник. Магнитный поток, обусловленный этой МДС, имеет направление, противоположное направлению основного потока в трансформаторе.

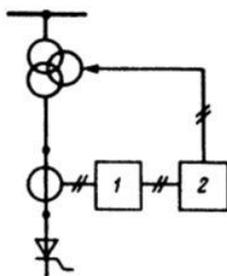


Схема компенсации высших гармоник магнитного потока трансформатора. 1 - заграждающий фильтр для первой гармоники; 2 – усилитель токов высших гармоник.

В результате высшие гармоники магнитного потока в определенной степени компенсируются. Такой способ в некоторых случаях может быть сопряжен с меньшими затратами, чем при использовании обычных компенсационных фильтров. Для реализации этого способа необходим трехобмоточный трансформатор. Кроме того, у

этой схемы низкое быстродействие и она подходит только для мощных преобразователей, работающих в «спокойном» режиме.

Второй подход может быть осуществлен путем обеспечения специальных законов управления частотным преобразователем. При одинаковой нагрузке двух преобразователей частоты наличие разности между углами управления приводит к уменьшению отдельных гармоник. Это дает возможность регулировать уровень высших гармоник в спектре сетевого тока и подавить одну или две гармоники.

Снизить уровень высших гармоник, так же возможно путем рационального построения схемы электроснабжения. Например, применение трансформаторов на преобразователях частоты с повышенным напряжением; питание нелинейных нагрузок от отдельных трансформаторов или подключение параллельно нелинейным нагрузкам синхронных двигателей.

Существуют и другие способы снижения высших гармоник, но их реализация более сложная и сравнима по стоимости с использованием фильтров.

## **Выводы**

На горных предприятиях, включающих в себя электроприводы с частотным управлением, возможно погрешности в работе счетчиков электроэнергии до 6%.

Для решения этой проблемы могут использоваться активные или гибридные фильтры или быть реализованы специальные мероприятия по улучшению формы кривой сетевого тока.

## **Библиография**

1. Васильев Б.Ю., Шелудченко Е.С. Система управления с переменной частотой модуляции автономного инвертора преобразователя частоты // Известия высших учебных заведений. Электромеханика 2020; 1: стр. 43-48.
2. Жежеленко И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения предприятий // М:Энергоатомиздат, 2000 г.
3. Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л., Бараненко Т.К. Интергармоники в системах электроснабжения предприятий // Вестник Приазовского гостехуниверситета, 1999, №8, стр. 68-72.
4. Соломенцев К.Ю., Пасенчук А.Э., Лачин В.И., Дьяченко В.Б., Плотников Д.А. Метод решения уравнений для высокоточных систем измерения электрических величин // Известия высших учебных заведений. Электромеханика 2020; 4: стр. 77-83.

## Выбор калориферной установки для подземной горной выработки в условиях низких температур

Армишева Д.В. \* (МГРИ), Меркулов М.В. (МГРИ, [mvm.07@mail.ru](mailto:mvm.07@mail.ru)),  
Башкуров А.Ю. (МГРИ, [bashkurov\\_A@inbox.ru](mailto:bashkurov_A@inbox.ru))

### Аннотация

В холодное время года температура атмосферного воздуха ниже 0°C. При подаче такого воздуха в шахту возникают следующие осложнения: ухудшаются тепловые условия для людей, занятых в околоствольных дворах; обмерзает армировка стволов, что сказывается на работе шахтных подъемных установок; обмерзают стенки, кровля и контракции транспортных установок в горизонтальных и наклонных выработках. Все это вызывает необходимость искусственного подогрева воздуха, подаваемого в шахту в холодное время года.

### Ключевые слова

Теплоснабжение, калориферная установка, вентиляционная установка, шахта.

### Теория

Источник теплоснабжения – наземная магистральная тепловая сеть в районе поселка Краснокаменска.

На вводе тепловой сети в здание главной вентиляционной установки, располагаемой на площадке вспомогательного ствола, предусматривается узел ввода тепловой сети. Теплоноситель - вода с параметрами 150/70°C. Нагрузка отопления и вентиляции 53 МВт.

В связи с тем, что главная вентиляционная установка (ГВУ) относится к первой категории по теплоснабжению согласно СП124.13330.2012, в здание входят четыре трубы (две прямой сетевой воды, две – обратной). В помещении каждая пара труб объединяется в свой коллектор. То есть узел ввода двухтрубный.

В состав узла входят: арматура, грязевик, фильтр, преобразователь расхода, контроль-измерительные приборы (см. рисунок 1).

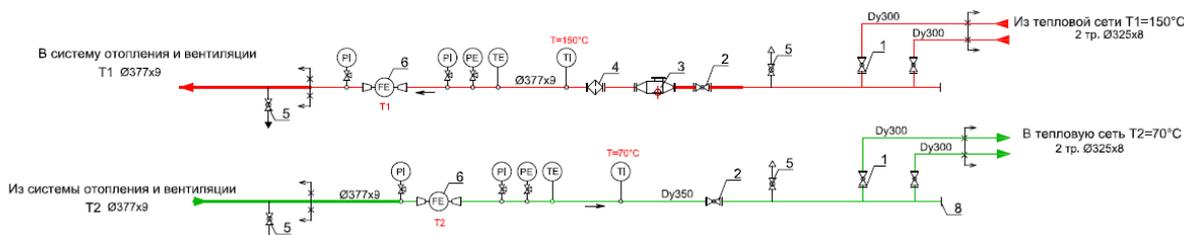


Рисунок 1. Узел ввода теплосети. Схема трубопроводов.

Система теплоснабжения калориферной установки водяная – двухтрубная с верхней разводкой и тупиковым движением теплоносителя и с открытой прокладкой трубопроводов теплоснабжения.

В холодное время года температура атмосферного воздуха ниже 0°C. При подаче такого воздуха в шахту возникают следующие осложнения: ухудшаются тепловые

условия для людей, занятых в околоствольных дворах; обмерзает армировка стволов, что сказывается на работе шахтных подъемных установок; обмерзают стенки, кровля и контракции транспортных установок в горизонтальных и наклонных выработках. Все это вызывает необходимость искусственного подогрева воздуха, подаваемого в шахту в холодное время года.

Подогрев воздуха осуществляется специальным калориферным комплексом, сооруженным вблизи воздухоподающих стволов.

В большинстве случаев, необходима калориферная установка, в комплексе со зданием ГБУ, для подогрева воздуха, подаваемого в рудник в зимний период по вентиляционному каналу к стволу.

Для выбора калориферной установки необходимо определить массовый расход нагреваемого воздуха ( $M_2 = V_2 * \rho$ ), тепловую нагрузку ( $Q = c M_2 \Delta t$ ), а также площадь фронтального сечения для прохода воздуха ( $f_2 = \frac{M_2}{v_2}$ ) [5].

По полученным данным, площадь фронтального сечения для прохода воздуха составила 3,6 м<sup>2</sup>. Под данное сечение наиболее подходит калорифер марки ВЕРОСА-500-473-03-00-УХЛЗ.

### ***Калориферные установки П1...П48***

В состав калориферных установок входит следующее оборудование:

- 48 кондиционеров ВЕРОСА-500-473-03-00 (П1...П48);
- 48 водосмесительных узлов ВЕКТОР-2-С-8-П-С+ (по одному узлу к каждому кондиционеру);
- шкаф системы автоматического управления ШСАУК;
- датчики температуры и термостаты защиты от замораживания.

Управление калориферными установками предусматривается со шкафа ШСАУК в 2-х режимах «ручной»/ «дистанционный».

В ручном режиме предусмотрено управление установкой с панели оператора по месту установки шкафа. В дистанционном режиме предусмотрено управление установкой по сети с АРМ оператора или АРМ диспетчера.

Работа установки предусматривается в холодный период времени.

Шкаф ШСАУК обеспечивает:

- контроль температуры приточного и наружного воздуха;
- регулирование температуры приточного воздуха по усредненному значению

Температуры от 2-х датчиков;

- защита водяного воздухонагревателя от размораживания;

- сигнализация аварийных событий;
- осуществление самозапуска установки при кратковременном пропадании питания;
- отключение при возникновении пожара.

Принципиальная схема вентиляции caloriferной установки приведена на рисунке 2.

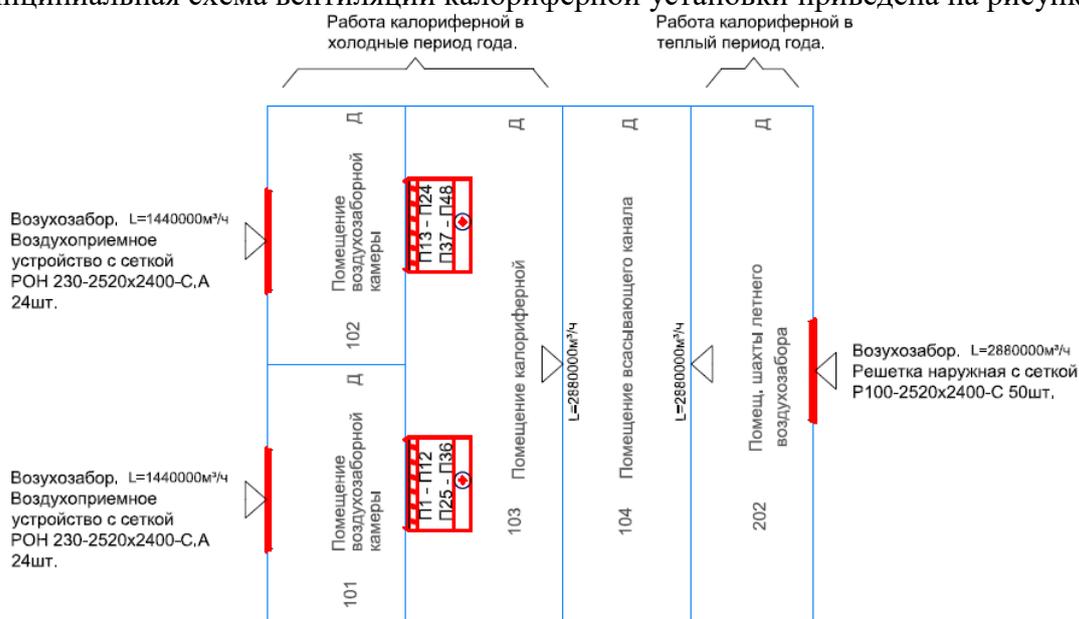


Рисунок 2. Принципиальная схема вентиляции caloriferной установки.

Одним из направлений совершенствования систем энергоснабжения является повышение эффективности энергоисточников, которое возможно за счет использования возобновляемых источников энергии и вторичных энергоресурсов. Данное направление относительно новое, но уже сейчас можно утверждать об актуальности исследований на горных предприятиях.

## Библиография

1. Меркулов М.В., Косьянов В.А.: «Повышение эффективности буровых работ на основе совершенствования системы энергоснабжения», Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2007. № 8. С. 9-12.;
2. Меркулов М.В.: «Оптимизация энергетических комплексов при бурении геологоразведочных скважин в условиях крайнего севера», диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Рос. гос. геологоразведоч. ун-т им. С. Орджоникидзе (РГГРУ). Москва, 2008;
3. Брюховецкий О.С., Лимитовский А.М., Меркулов М.В., Калугин Е.В.: «Малая энергетика на базе возобновляемых источников энергии на объектах геологоразведочных работ», Горный журнал. 2004. № 5. С. 70-72.;
4. Брюховецкий О.С., Лимитовский А.М., Меркулов М.В.: «О перспективе использования возобновляемых источников энергии при производстве геологоразведочных работ», Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2007. № 3. С. 78-79.
5. Меркулов М.В., Косьянов В.А., Головин С.В., Башкуров А.Ю.: «Теплотехника и техническая термодинамик», Рязань: Издательство ООО "Полиграфия", 2017. – 166с.

**К вопросу освоения лимногенных месторождений полезных ископаемых  
Буянов М.И. \* (МГРИ, [buyanov08@mail.ru](mailto:buyanov08@mail.ru)), Рассказов А.А. (РУДН,  
[rasskazo@yandex.ru](mailto:rasskazo@yandex.ru)), Горбатов Е.С. (ИФЗ РАН, [e.s.gor@mail.ru](mailto:e.s.gor@mail.ru)), Кочкина Е.В.  
(ООО «УК «ГУ ПО «Возрождение», [elizaveta-kochkina00@rambler.ru](mailto:elizaveta-kochkina00@rambler.ru))**

## Аннотация

С осадочным веществом озерного происхождения и его ролью в континентальном литогенезе связано образование широкого спектра полезных ископаемых, некоторые из которых практически не формируется в иных фациальных обстановках. Запасы лимногенных полезных ископаемых имеют важное ресурсное значение. Они содержат, кроме месторождений строительного сырья (пески, глины, известняки), эвапориты (трона, тенардит, гипс, эпсонит, галит, карналлит, сильвин, бишофит и др.), угли, горючие сланцы, цеолиты, бораты, служат источниками и резервуарами различных углеводородов, в том числе нефти и газа. Наряду с неметаллическими полезными ископаемыми в озерных структурах накапливаются железомарганцевые, медные руды и бокситы и некоторые другие рассеянные рудные компоненты, связанные, например, с горючими сланцами и эвапоритами.

## Ключевые слова

Лимногенные, озерные, месторождения

## Теория

Каолинитовые глины используются в керамической, огнеупорной, бумажной и других отраслях промышленности. Огнеупорные каолинитовые глины должны обладать огнеупорностью не ниже 1580°C и не содержать вредные примеси (сульфидное железо, оксид титана, слюды). Гидрослюдистые глины имеют разнообразный минералогический состав и обычно являются неогнеупорными. Пластичные и однородные разности применяются для изготовления грубой керамики (строительного кирпича, черепицы). Монтмориллонитовые глины в озерах накапливаются редко. Также как цеолиты, так как этот тип глин формируется в условиях разложения вулканических туфов в щелочных озерных водах. Разработка таких глин ведётся преимущественно открытым способом.

Озёрный диатомит (инфузорная земля, кизельгур) – легкая (плотность 0,3-0,7 г/см<sup>3</sup>) тонкопористая опал-кристобалитовая горная порода, которая формируется при отложении кремнистых скелетов пресноводных диатомовых водорослей. Она содержит 62-97% SiO<sub>2</sub> преимущественно в виде глобул опала (SiO<sub>2</sub>×nH<sub>2</sub>O), также присутствуют обломочные примеси и частицы глины.

Диатомитовые образования в виде пластичного кремнистого осадка залегают линзами и гнездами, выполняющими дно озер и болот. Мощность залежей в среднем составляет 2-4 м. После обжига с целью удаления органики, карельские диатомиты не уступают лучшим сортам кольских диатомитов.

Сапропель представляет собой коллоидный осадок пресноводных водоемов, состоящий из остатков планктона и бентоса, а также отмерших частей макрофитов и гумусовых частиц почвы. Сапропелевый осадок имеет вид студенистой массы розового, коричневатого-оливкового или почти черного цвета. Плотность сапропеля 1,05 г/см<sup>3</sup>, влажность может достигать 97 %. Зольность сапропеля с глубиной, как правило,

уменьшается. Масса медленно сохнет, но высохнув, твердеет и уже не размачивается. Сапропель содержит большое количество органических веществ (не менее 15 %), в том числе лигнино-гумусовый комплекс (до 40 %), углеводы, битумы и пр. В состав сапропелей входят песчаные, алевритовые и глинистые частицы терригенного происхождения (твердый сток рек, эрозия берегов), а также хемогенные осадки в виде озерной извести. В сапропели присутствуют как аллотигенные минералы – кварц, полевые шпаты, мусковит, биотит, так и аутигенные – опал, кальцит, лимонит, сидерит, гипс, пирит, сера. Повышенная концентрация микроэлементов наблюдается в сульфидных (группа тяжелых металлов), кремнеземистых (Ni, Cu, Co) и органических (Zn, Mo) сапропелях. Разработка диатомитовых и сапропелевых месторождений проводится открытым способом.

Горючие сланцы перерабатывают с целью получения сланцевой смолы (топливо, пропитка шпал) и фенолов (дубители) и коксуются для производства бытового газа. Твердые отходы переработки горючих сланцев (зола, кокс) широко используются при производстве строительных материалов (минеральной ваты, портландцемента, силикатного кирпича, сланцезольного бетона).

Углеводородные продукты комплексной переработки горючих сланцев – сланцевая смола (или «сланцевая нефть») и сланцевый газ, рассматриваются в последние несколько лет, как наиболее перспективные «заменители» традиционной нефти и газа. По некоторым оценкам потенциальный ресурс сланцевой смолы (550-630 млрд. т) в 4 раза больше, чем все разведанные запасы нефти.

Озёрная известь представляет собой рыхлый пресноводный осадок серого, белого или ржавого цвета, состоящий из биогенного и хемогенного  $\text{CaCO}_3$ . Как правило, в нем содержатся примеси глины и алеврита.

Озерная известь накапливается, если подстилающие горные породы представлены известковыми отложениями. Озерная известь добывается путем драгирования водоемов и применяется для известкования кислых дерново-подзолистых почв. Она может рассматриваться как более дешевая замена твердых известковых пород (известняк, доломит, мел), требующих предварительного измельчения

Месторождения озерных эвапоритов являются важнейшим источником нерудных полезных ископаемых, в основном горно-химического и специального сырья. Почти все они приурочены к соленым (минеральным) озерам и представляют концентрированные (близкие к насыщению) растворы легкорастворимых солей (рапу) и (или) их осадки, выпадающие на дно в случае насыщения раствора одной или несколькими солями.

Из соленых озер добывается поваренная соль и сода, сырье для фармацевтической, пищевой и химической отраслей промышленности, в том числе хлористый натрий, хлористый магний, сода, глауберова соль, соединения брома, йода и бора. Накопление отложений минеральных солей в самосадочных озерах получило название галогенеза. адка солей из озерной рапы происходит летом при испарительном сгущении рассолов и зимой из-за снижения растворимости солей при низких температурах. Для этих месторождений характерно наличие мощных пластов галита, которые переслаиваются в нижней части с ангидритом или гипсом, значительная масса которого вторична и образовалась при гидратации ангидрита. Часто залежи каменной соли подстилаются химически осажденными известняками. Например, в строении крупнейшего в мире

Соликамского месторождения калийной соли выделяется базальная часть известково-глинистой толщи раннепермского возраста. Выше располагается глинисто-ангидритовая толща (380 м), серия пластов серой каменной соли (250-400 м), толща чередования сильвина и галита (12-56 м) и горизонт карналлита (10-20 м)

Разработка древних соляных месторождений ведётся преимущественно подземным способом.

Железомарганцевая руда - разновидность бурожелезняковых (лимонитовых) руд осадочного происхождения. Гидроксиды железа и марганца, поступающие в озера с грунтовыми водами, откладываются на их дне в виде мелких образований (оолитов) округлой или бобовидной формы. Оолиты характеризуются концентрически-скорлуповатым сложением и часто сцементированы глинистым осадком. Скопления железомарганцевых бобовин (гидрогетит, псиломелан и др.) образуют на дне ряда северных озер (Карелия, Канада) залежи, так называемой озерной бобовой железной руды. Рудные тела представляют собой линзы и пласты с переслаиванием гидроксидов (выпадают зимой) и летних песчано-глинистых слоев. В прошлом бедные озерные и болотные руды являлись практически единственным источником железа, т.к. залегают они неглубоко и могут добываться кустарным способом. В настоящее время залежи лимонитовых руд практически не разрабатываются, так как перерабатываются значительно более богатые железные руды, соответствующими методами.

Кроме железных, медных руд и бокситов, имеющих основное ресурсное значение среди рудных лимногенных полезных ископаемых, с озерными обстановками связаны россыпные залежи, образующие небольшие месторождения регионального значения. Для данного типа рудных компонентов озера выступают в качестве природных обогатителей.

С обломочными озерными отложениями связаны литоральные или прибрежно-озёрные россыпи рудных и нерудных минералов. Дифференциация россыпных минералов в озерах или в их береговой зоне мала, поэтому появление озерных россыпей полезных ископаемых происходит сравнительно редко. В озерах россыпные минералы (высокоплотные и стойкие к истиранию) накапливаются при разгрузке потоков речных наносов; в результате размыва прибоем коренных месторождений или древних россыпей. В зависимости от дальности сноса в прибрежной зоне озер могут формироваться россыпи ближнего сноса и россыпи дальнего переноса и переотложения. Первые возникают, когда площадь рудного месторождения находится вблизи береговой зоны озера. Россыпи дальнего сноса наиболее характерны для крупных озер (Аральское море) и по условиям образования принципиально не отличаются от прибрежно-морских россыпей дальнего переноса. Известны промышленные пляжевые озерные россыпи золота, алмазов, шеелита, касситерита и тантало-ниобатов, а также донные россыпи янтаря. В соляных озерах накапливаются такие рудные компоненты, как литий и рубидий (см. эвапориты), а при разработке черносланцевых лимногенных пород попутно извлекаются такие цветные и рассеянные металлы, как молибден, свинец, цинк, ванадий, уран, рений, германий.

С озерными отложениями связаны месторождения строительных песков, россыпных руд (рис 1.), цементных и керамических (в т.ч. огнеупорных) глин, мергелей, железомарганцевых руд, диатомитов, эвапоритов и каустобиолитов. Биогенный осадок, который накапливался в древних озерах, при определенных условиях может преобразовываться в битуминозные (горючие) сланцы, которые при катагенезе

способны генерировать нефть и газ. Существует генетическая связь лимногенных осадочных комплексов и месторождений каолинитов, осадочных железных руд, некоторых разновидностей мергелей и трепелов. Сапропель, озерная известь, диатомит и минеральные соли являются наиболее значимыми полезными ископаемыми, добываемыми из современных озер. Залежи полезных ископаемых озерного происхождения чаще имеют форму линз, однако могут образовывать и выдержанные по простиранию пласты. Что касается формирования рудных полезных ископаемых в лимногенных структурах, то для этих процессов характерна схема накопления осадков, в которой озерные комплексы играют роль концентраторов и обогатителей рудного вещества.

Разработка лимногенных месторождений производится, как правило, открытым способом. [2,3,4]



*Рисунок 1. Разработка россыпного месторождения золота дражным способом*

## **Выводы**

Лимногенные полезные ископаемые имеют важное ресурсное значение. Они содержат, кроме строительного сырья (пески, глины, известняки), эвапориты (трона, тенардит, гипс, эпсонит, галит, карналлит, сильвин, бишофит и др.), угли, горючие сланцы, цеолиты, бораты, служат источниками и резервуарами различных углеводородов, в том числе нефти и газа. Наряду с неметаллическими полезными ископаемыми в озерных структурах накапливаются железомарганцевые, медные руды и бокситы и некоторые рассеянные рудные компоненты, связанные, например, с горючими сланцами и эвапоритами.

Кроме того, вода солоноватых и соленых озер используется как важнейший гидроминеральный ресурс минеральных солей, Br, I, B, Li, Rb и др. Особенностью лимногеологических исследований на современном уровне понимания процессов озерного литогенеза является возможность анализа и прогноза большого количества как нерудных, так и рудных лимногенных полезных ископаемых, что является особенно актуальным в связи с их большим ресурсным значением.

## **Библиография**

1. Рассказов А.А, Горбатов Е.С. Лимногеология и эволюция озерного литогинеза М. ИФЗ РАН, 2019. 192 с.
2. В.Н.Попов, В.В.Руденко, Х Бадамсурэн и др. Оценки недропользования. –М.: Изд – во Академии горных наук, 2001 296с.
3. «Открытые горные работы XXI век» Справочник. Том 1. Под редакцией Анистратова К.Ю.-: М.,ООО «Система максимум», 2019.
4. «Открытые горные работы XXI век» Справочник. Том 2. Под редакцией Анистратова К.Ю.-: М.,ООО «Система максимум», 2019.

*Рейтинг массива SMR (Slope Mass Rating) для откосов  
Величко Д.В.\* (МГРИ им. Серго Орджоникидзе, velichkov@mgri.ru),  
Дронов А.Н. (АНО Аудит недропользования и консалтинг, veutel@mail.ru)  
Пименова А.В. (МГРИ им. Серго Орджоникидзе, pimenovaav@mgri.ru)*

## Аннотация

В статье рассматривается классификация массива горных пород (SMR) для применения в описании свойств пород, слагающих откосы

## Ключевые слова

Откосы, устойчивость откосов, RMR, SMR, рейтинг массива

## Рейтинг SMR

Рейтинговая классификация массива горных пород была разработана для учёта множества факторов, влияющих на прочность массива горных пород, а также на его деформируемость (например, ориентация систем трещин, плотность сетки трещин, прочность заполнителя в трещинах) и позволяет выполнять численную оценку свойств исследуемого геологического материала. Оценка, как правило, происходит по шкале от 0 до 100, где 100 соответствует наиболее прочной горной массе. Рейтинг массива позволяет одновременно учитывать прочность самого массива и прочность заполнителя в трещинах. Вместе с тем, рейтинг позволяет решить проблему перехода от прочности пород в образце к прочности пород в массиве.

Slope Mass Rating использует те же самые пять категорий, которые применяются в RMR:

1. Прочность на одноосное сжатие
2. Показатель качества керна (RQD)
3. Расстояние между трещинами
4. Состояние трещин (сумма пяти субшкал)
5. Параметры обводнения

Финальная шестая категория рейтинга выполняет коррекцию за ориентацию систем трещин. SMR представляет собой набор методик оценки в виде опросного листа с четырьмя субкатегориями, три из них относятся к породному откосу и геометрии сетки трещин, а четвёртая – к методике обработки откоса. SMR относится и к плоскому скольжению и к опрокидыванию пластов.

Окончательное выражение рейтинга SMR описывается следующим выражением:

$$SMR = RMR_b + F_1 * F_2 * F_3 + F_4$$

Где:

$RMR_b$  – Рейтинг массива RMR из классификации Бенявского, полученный без всяких коррекций

$F_1$  – Зависит от угла конвергенции между откосом и трещиной

$F_2$  – Зависит от угла наклона системы трещин по отношению к откосу. В случае с опрокидыванием слоёв принимает значение 1,0. Этот параметр относится к вероятности сдвига по трещине.

$F_3$  – Зависит от отношения между углов наклона откоса и трещины (опрокидывание, плоское скольжение) или от угла наклона линии скольжения блока (схема обрушения с выкальзыванием блока из массива). Этот параметр сохраняет поправки Бенявского, принимает значение от 0 до -60 пунктов и описывает вероятность обнажения трещины на поверхности откоса для описания плоского случая обрушения, или случая с проскальзыванием блока из массива.

$F_4$  – Корректирующий фактор, который зависит от технологии производства горных работ на склоне.

	Type of failure	Auxiliary angles	Very favorable	Favorable	Normal	Unfavorable	Very unfavorable	
Parallelism	P	$ \alpha_j - \alpha_s $						
	T	$A =  \alpha_j - \alpha_s - 180 $	$> 30^\circ$	30 – 20°	20 – 10°	10 – 5°	$< 5^\circ$	
	W	$ \alpha_i - \alpha_s $						
	P/T/W	$F_1$		0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
Dip angle	P/W	$B = \beta_j \text{ or } \beta_i$	$< 20^\circ$	20 – 30°	30 – 35°	35 – 45°	$> 45^\circ$	
	P/W	$F_2$		0.15	0.40	0.70	0.85	1.00
	T				1.00			
Dip relationship	P	$\beta_j - \beta_s$	$> 10^\circ$	10 – 0°	0°	0 – (-10)°	$< (-10)^\circ$	
	W	$\beta_i - \beta_s$						
	T	$\beta_j + \beta_s$	$< 110^\circ$	110 – 120°	$> 120^\circ$	-	-	
	P/T/W	$F_3$		0	-6	-25	-50	-60
Excavation method ( $F_4$ )								
		Natural slope		+15	Blasting or mechanical		0	
		Presplitting		+10	Deficient blasting		-8	
		Smooth blasting		+8				

**Рисунок 1.** Форма шкалы Slope Mass Rating со значениями поправочных коэффициентов  $F_1$ - $F_4$ .

SMR используется повсеместно. Однако при применении рейтинга иногда возникает ряд ошибок. Большинство из них относится к счислению угловых величин в отношениях между углом падения и направлением падения систем трещин и откоса, которые используются в определении факторов  $F_1$ ,  $F_2$  и  $F_3$

### Модификации рейтинга SMR

Функции  $F_1$ ,  $F_2$  и  $F_3$  показывают максимальное абсолютное расхождение с дискретными функциями, имеющими значение меньше 7 пунктов и сильно снижают достоверность субъективной интерпретации.

Предлагаемая модификация  $F_1$  непрерывной функции, которая наилучшим образом соответствует дискретным значениям:

$$F_1 = \frac{16}{25} - \frac{3}{500} \arctan\left(\frac{1}{10} (|A| - 17)\right)$$

Где параметр  $A$  – угол между трещиной и плоскостью откоса для плоского случая и для случая с опрокидыванием слоёв.  $A$  также угол между пересечением двух трещин и направлением падения откоса для случая с проскальзыванием блока. Функция арктангенса считается в градусах.

$$F_2 = \begin{cases} \frac{9}{16} - \frac{1}{195} \arctan\left(\frac{17}{100} B - 5\right), \\ 1, \end{cases}$$

Где параметр  $B$  – угол падения трещины в градусах для плоского случая обрушения и угол ныряния линии пересечения трещин для обрушения с проскальзыванием блока. Для случая с опрокидыванием слоёв значение  $F_2$  принимается равным 1,0.

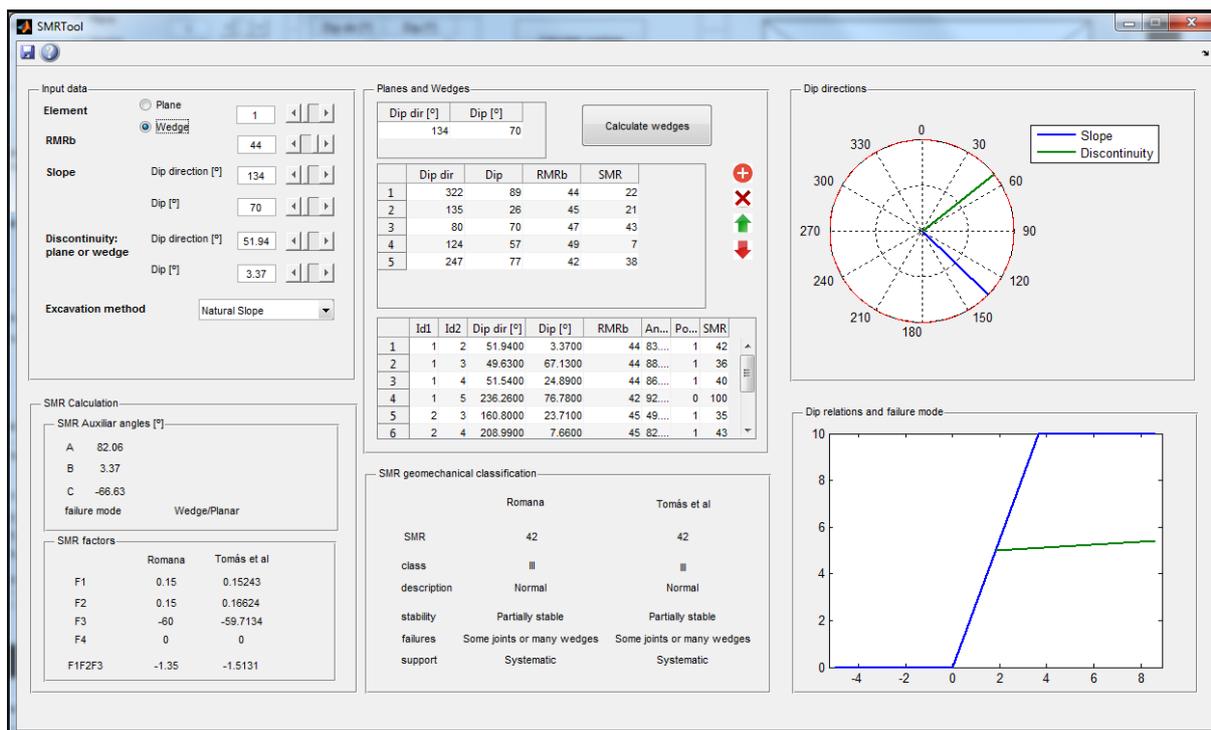
$$F_3 = \begin{cases} -30 + \frac{1}{3} \arctan C, \\ -13 - \frac{1}{7} \arctan(C - 120), \end{cases}$$

Где  $C$  зависит от отношения между откосом и углом падения трещины (случай опрокидывания слоёв или случай плоского обрушения), или углом падения откоса и наклоном к горизонту линии падения в случае с проскальзыванием блока. Функция арктангенса, также, считается в градусах.

Существует также графический метод, основанный на применении стереографического представления положения трещин и угла откоса для получения правильных параметров рейтинга SMR. Этот метод позволяет легко корректировать значения факторов для однородных откосов или в простых случаях вроде линейных откосов котлованов, траншей и карьеров

Для сложных случаев, таких, как высокие откосы, слоистые образования или гетерогенные материалы, требуется адаптация рейтинга SMR.

Для упрощения использования рейтинга SMR существует программа SMRTool (рис. 2), распространяемая по лицензии Open Source. Также существует версия этой программы в виде листа Excel с макросами.



Пример главного окна программы SMRTool с расчётом параметров

## Выводы

Рейтинговые системы классификации массива горных пород значительно упрощают полевое описание геомеханических свойств, а также позволяют более просто и эффективно оценивать физико-механические свойства горных пород непосредственно в поле.

Рейтинговые системы также позволяют переходить от качественных оценок к количественным, что значительно повышает достоверность данных, получаемых в полевых условиях.

## Библиография

1. Будник Д. Р. Рейтинговые классификации массивов горных пород и их практическое применение //ИННОВАЦИОННЫЕ ГЕОТЕХНОЛОГИИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ РУДНЫХ И НЕРУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ. – 2017. – Т. 18. – С. 249.
2. Ferrari F., Apuani T., Giani G. P. Rock Mass Rating spatial estimation by geostatistical analysis //International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences. – 2014. – Т. 70. – С. 162-176.
3. Tomas R. et al. A graphical approach for slope mass rating (SMR) //Engineering Geology. – 2012. – Т. 124. – С. 67-76.
4. Zheng J. et al. A discussion on the adjustment parameters of the slope mass rating (SMR) system for rock slopes //Engineering Geology. – 2016. – Т. 206. – С. 42-49.

**Нейронные сети и возможности их применения для анализа пространственных геологических данных**

**Гришков Г.А.\* (ИГЕМ РАН, г. Москва, gorgulini@yandex.ru), Устинов С.А. (ИГЕМ РАН, г. Москва, ustinov@igem.ru), Нафизин И.О. (ИГЕМ РАН, г. Москва, nafigin@igem.ru), Петров В.А. (ИГЕМ РАН, г. Москва, vlad243@igem.ru)**

**Аннотация**

Нейронная сеть — это последовательность нейронов, соединенных между собой синапсами (Барский, 2013). Благодаря такой структуре, машина обретает способность анализировать и запоминать разнородную информацию. Нейронные сети позволяют не только анализировать входящую информацию, но и на её основе создавать вероятностные прогнозные модели.

В наше время с помощью нейронных сетей может быть решено огромное количество задач в разных отраслях геологии. В геофизике они получили широкое применение в области автоматической корреляции разрезов скважин (Шайбаков, 2012). В гидрологии — для оценки и прогнозирования накопления речных отложений (Карептянин, 2019). Кроме того, на основе данных о химическом составе горных пород, нейросети позволяют оценить алмазонасность этих пород. В нефтегазовой отрасли производится поиск и прогноз коллекторов в зависимости от параметров пористости и проницаемости горных пород.

До настоящего времени работ, связанных с обработкой пространственных геологических данных с помощью нейронных сетей, не проводилось. Решение подобной задачи планируется осуществить в лаборатории геинформатики ИГЕМ РАН на базе создания автоматизированной экспертной системы для прогнозирования месторождений урана на примере юго-восточного Забайкалья.

**Ключевые слова**

Нейронная сеть, нейрон, синапс, геологические пространственные данные.

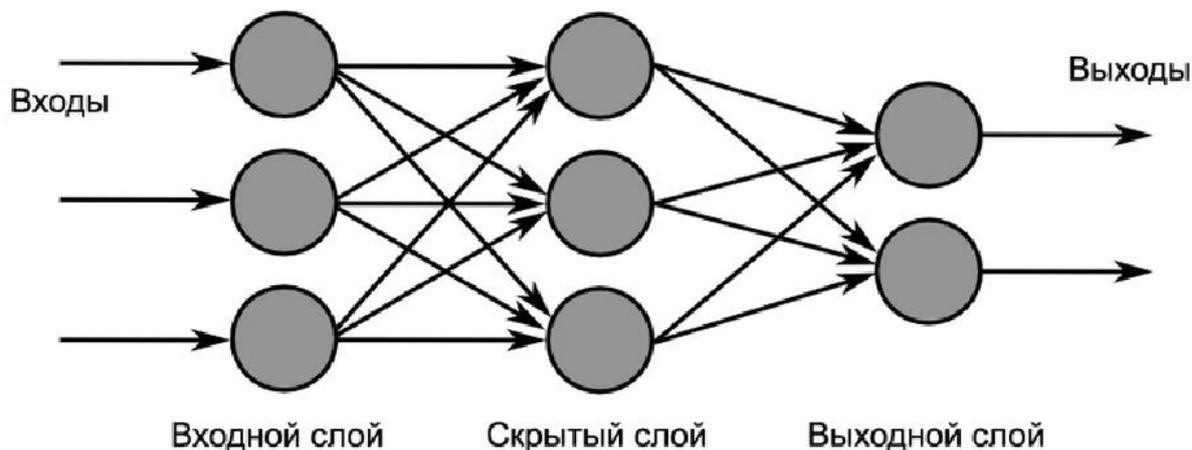
**Теория**

Впервые структура нейронной сети пришла в мир программирования из биологии. Простыми словами, нейросеть – это машинная интерпретация мозга человека, в котором находятся миллионы нейронов, передающих информацию в виде электрических импульсов.

Нейрон — это вычислительная единица, которая получает информацию, производит над ней простые вычисления и передает ее дальше. Нейроны оперируют числами в диапазоне  $[0,1]$  или  $[-1,1]$  и делятся на три основных типа: входной, скрытый и выходной. Также существуют нейрон смещения и контекстный.

Нейронные сети состоят из слоев (рис. 1). Основные слои для ее работы называются входной, выходной и скрытые слои. Входной слой получает информацию, скрытые слои, количество которых практически не ограничено, ее обрабатывают и выходной слой выводит результат.

Каждый нейрон характеризуется двумя основными параметрами: входные и выходные данные. В случае нахождения нейрона в входном слое эти данные равны. В остальных случаях, входные данные равны суммарной информации всех нейронов с предыдущего слоя, после чего они нормализуются с помощью функции активации и попадают в выходные данные.



*Рисунок 1. Строение нейронной сети.*

Нейроны одних слоёв передают информацию нейронам других слоев с помощью связей – синапсов. У синапсов есть один параметр — вес. Благодаря ему, входная информация изменяется в процессе передачи от одного нейрона к другому. Именно благодаря этим весам, входная информация обрабатывается и превращается в результат. Во время инициализации нейронной сети, веса расставляются в случайном порядке.

Данные, необходимые для работы нейронной сети, могут быть совершенно разнородными и иметь различные размерности. Например, одни достигают тысячи км/ч, другие сотые мВ и т.д. Но нейронные сети работают с данными величиной от -1 до 1 или от 0 до 1. Следовательно, перед загрузкой данных в нейронную сеть, необходимо их привести к требуемому виду, нормализовать. Одним из способов нормализации входных данных является функция активации (Галушкин, 2015). Пропустив число через функцию активации, оно выводится в нужном диапазоне. Основные функции активации: сигмоид и гиперболический тангенс.

Сигмоид — самая распространенная функция активации, иногда называемая логистической функцией, ее диапазон значений  $[0,1]$ .

Гиперболический тангенс используется только тогда, когда значения могут принимать и отрицательные, и положительные величины, так как диапазон функции равен  $[-1,1]$ . Использовать эту функцию только с положительными значениями нецелесообразно — это значительно ухудшит результаты обработки данных нейронной сетью.

Как говорилось ранее, каждая нейронная сеть включает в себя первый слой нейронов, называемый входным (Хайкин, 2019). Этот слой не выполняет каких-либо преобразований и вычислений, его задача принимать и распределять входные сигналы по остальным нейронам. Этот слой единственный, являющийся общим для всех типов

нейронных сетей. Критерием для деления является уже дальнейшая структура. По количеству слоев нейронные сети разделяют на однослойные и многослойные.

Однослойная структура нейронной сети представляет собой структуру взаимодействия нейронов, в которой сигналы со входного слоя сразу направляются на выходной слой, который не только преобразует сигнал, но и сразу же выдает ответ. Входные нейроны являются объединенными с основным слоем с помощью синапсов с разными весами, обеспечивающими качество связей.

Многослойная нейронная сеть, помимо выходного и входного слоев, имеет еще несколько скрытых промежуточных слоев (Яхьяева, 2008). Число этих слоев зависит от степени сложности нейронной сети. Она в большей степени напоминает структуру биологической нейронной сети. Подобные решения обладают большими возможностями, в сравнении с однослойными, ведь в процессе обработки данных каждый промежуточный слой — это промежуточный этап, на котором осуществляется обработка и распределение информации.

Кроме количества слоев, нейронные сети можно классифицировать по направлению распределения информации по синапсам между нейронами: на нейронные сети прямого распространения (однонаправленные) и на рекуррентные нейронные сети (с обратными связями).

В структуре однонаправленной нейронной сети сигнал перемещается строго по направлению от входного слоя к выходному. Движение сигнала в обратном направлении не осуществляется и в принципе невозможно. Разработки этого плана успешно решают задачи распознавания образов, прогнозирования и кластеризации.

В нейронных сетях с обратными связями сигнал движется и в прямом, и в обратном направлении. В итоге результат выхода способен возвращаться на вход. Выход нейрона определяется весовыми характеристиками и входными сигналами, плюс дополняется предыдущими выходами, снова вернувшись на вход. Эти нейронные сети обладают функцией кратковременной памяти, на основании чего сигналы восстанавливаются и дополняются во время их обработки.

В отличие от обычного программного обеспечения, нейронную сеть не программируют напрямую, а обучают. Обучением нейронной сети является поиск такого набора весовых коэффициентов, при котором входной сигнал после прохода по сети преобразуется в нужный нам выходной. Для обучения нейронной сети используют выборки: обучающую и тестовую.

Обучающая выборка — конечный набор входных сигналов, по которым происходит обучение сети.

Тестовая выборка — конечный набор входных сигналов, по которым происходит оценка качества работы сети.

Существует в основном два метода обучения: обучение с учителем и без него. Суть обучения с учителем заключается в том, что в процессе обучения нейронной сети участвует человек. Он дает на вход сигнал, смотрит на ответ сети, а затем сравнивает его с уже готовым, правильным ответом. Затем, с помощью специальных алгоритмов, он меняет веса связей нейронной сети и снова дает ей входной сигнал, сравнивает ее ответ

с правильным и повторяет этот процесс до тех пор, пока сеть не начнет отвечать с приемлемой точностью.

Обучение без учителя применяют при отсутствии правильных ответов на входные сигналы. В этом случае вся обучающая выборка состоит из набора входных сигналов. При таком «обучении» сеть начинает выделять классы подаваемых на вход сигналов — осуществлять кластеризацию.

## **Выводы**

В связи с тем, что планируемая к созданию нейронная сеть должна работать с географически привязанными геологическими данными, будет разработана архитектура нейронной сети на основе многослойной рекуррентной модели. Это объясняется необходимостью наличия у нейронной сети памяти, так как входящая информация имеет географическую привязку, которую нужно учитывать и хранить в процессе обработки.

При обучении нейронной сети нами предлагается использования метода обучения с учителем. В качестве обучающей выборки на начальном этапе будет выступать Стрельцовское рудное поле, включающее 19 молибден-урановых гидротермальных месторождений. Тестовой выборкой для опробования и верификации поисковых возможностей нейросетевой модели, будет выступать юго-восточное Забайкалье. Объект выбран на основе предыдущих оценок высоких перспектив обнаружения урановых месторождений и рудопроявлений.

## **Библиография**

1. Барский, А.Б. Логические нейронные сети: Учебное пособие / А.Б. Барский. - М.: Бином, 2013. - 352 с.
2. Галушкин, А.И. Нейронные сети: основы теории. / А.И. Галушкин. - М.: РиС, 2015. - 496 с.
3. Карапетян, Т. А. Использование искусственных нейронных сетей для оценки и прогнозирования речных отложений / Т. А. Карапетян. — Текст : непосредственный // Молодой ученый. — 2019. — № 17 (255). — С. 29-32.
4. Хайкин, С. Нейронные сети: полный курс / С. Хайкин. - М.: Диалектика, 2019. - 1104 с.
5. Шайбаков, Р. А. Использование нейросетевого аппарата для идентификации границ геологических объектов / Р. А. Шайбаков. — Текст : непосредственный // Технические науки: традиции и инновации : материалы I Междунар. науч. конф. (г. Челябинск, январь 2012 г.). — Челябинск : Два комсомольца, 2012. — С. 8-11.
6. Яхьяева, Г.Э. Нечеткие множества и нейронные сети: Учебное пособие / Г.Э. Яхьяева. - М.: Бином. Лаборатория знаний, 2008. - 316 с.

**Перспективы освоения глубоководных минералогенических осадков дна Мирового океана**

**Дробаденко В. П.\* (МГРИ, [drobadenko@mail.ru](mailto:drobadenko@mail.ru)), Вильмис А. Л. (МГРИ, [vilmisal@mgri.ru](mailto:vilmisal@mgri.ru)), Луконина О. А. (МГРИ, [lu\\_19-12@mail.ru](mailto:lu_19-12@mail.ru)),**

**Аннотация**

В работе Дробаденко В. П. и др. приводится классификация процессов накопления пелагических донных осадков. Рассматривается концентрация металлогенетических накоплений в некоторых из них: красных глинах, железомарганцевых образованиях, редкоземельных илах. При этом в глубоководных илах, исследованных относительно недавно в исключительной 200-метровой зоне Японии, подтвердилось наличие редкометалльных элементов иттриевой группы. Считается по оценкам специалистов, что запасов этих илов достаточно, чтобы в течение длительного времени обеспечивать весь мир иттрием, европием, тербием и др.

Перспективными глубоководными месторождениями для освоения железомарганцевых конкреций является зона Кларион-Клиппертон в средней части Тихого океана, в которой РФ арендует один из многочисленных участков

**Ключевые слова**

Пелагические осадки, железомарганцевые конкреции, редкометалльные илы, эрлифт, драги-волокуши

**Теория**

Изученность минеральных ресурсов глубоководных отложений с каждым годом увеличивается. В настоящее время результаты многочисленных геологических исследований и проведенных геологоразведочных работ на пелагических отложениях дна Мирового Океана позволяют сделать вывод о наличии перспективных источников пополнения сырья для получения черных, цветных, редких и благородных металлов.

По Н.М. Страхову донные океанические осадки подразделяются на следующие типы: терригенные, образовавшиеся в результате разрушения горных пород; органические (биогенные) – скелеты и другие остатки морских организмов; хемогенные – продукты химических реакций, протекавших в морской среде, а также полигенные – смешанного типа.

Считается [2], что значительную площадь терригенных осадков на глубинах 3000-5000 м занимают «красные глины» - около 100 млн км<sup>2</sup> (что составляет около 50% дна Тихого океана). Эти породы содержат порядка 20% глинозема (сырья для производства алюминия); 13% окислов железа; 7% карбоната кальция; около 3% карбоната магния; 0,2% меди; около 0,02% кобальта; 0,08% никеля и других ценных компонентов. В целом запасы «красных глин» 10<sup>15</sup> тонн и обычно залегают совместно с конкрециями марганца и в перспективе могут разрабатываться одновременно.

По предложению американского ученого Д. Мери наиболее простым решением по способу добычи подобных полезных ископаемых является использование драги-волокуши, которая уже давно применяется учеными океанологами для получения проб

донных отложений. При этом вместо обычного ковша используют оборудование скрепера гораздо больших размеров, а конструкция режущей части не должна вызывать разубоживание горной массы. По его расчетам при глубинах разработки 2400-3000м, скорости погружения ковша 90м/мин, а подъема 225 м/мин, суточная производительность такого агрегата составит 187-218т, а энергоемкость – всего 80-105 кВт/ч . [2]

Органогенные и хемогенные осадки представлены в основном железомарганцевыми образованиями, включающими железомарганцевые конкреции (ЖМК), кобальтовые корки (КМК), а также фосфоритовые, глауконитовые и другие образования.

Конкреции, по мнению специалистов, могут быть оценены как руды на марганец, никель, кобальт, медь, цинк, серебро, золото. Из них можно также попутно извлекать свинец, цирконий, титан, ванадий магний, редкие земли и другие элементы. В работе [3] дана оценка запасов конкреций и ряда содержащихся в них элементов в районах Тихого Океана: Mn –  $2,4 \times 10^{11}$ , Co –  $2,8 \times 10^{11}$ , Ni –  $9,4 \times 10^9$ , Cu –  $5,3 \times 10^9$ . Считается, что пелагические осадки содержат в среднем в 10 раз больше важных для промышленности элементов, чем изверженные породы на континенте.

Поэтому в ближайшие годы перспективными месторождениями для освоения глубоководного дна Мирового океана, который МОМД ООН наряду с другими ведущими странами выделил Российской Федерации, считаются месторождения железомарганцевых конкреций (ЖМК) в средней части Тихого океана в зоне провинции Клариион-Клиппертон площадью 75 тыс. км<sup>2</sup> на глубинах 4500-5000 м [1]. В этом регионе содержание ценных компонентов в ЖМК довольно высокое: Ni – 1,4%, Co – 0,24%, Mn – 29,4% Cu – 1,1%, а в целом минерально-сырьевой потенциал сопоставим с ресурсами уникального Норильского горнопромышленного района.

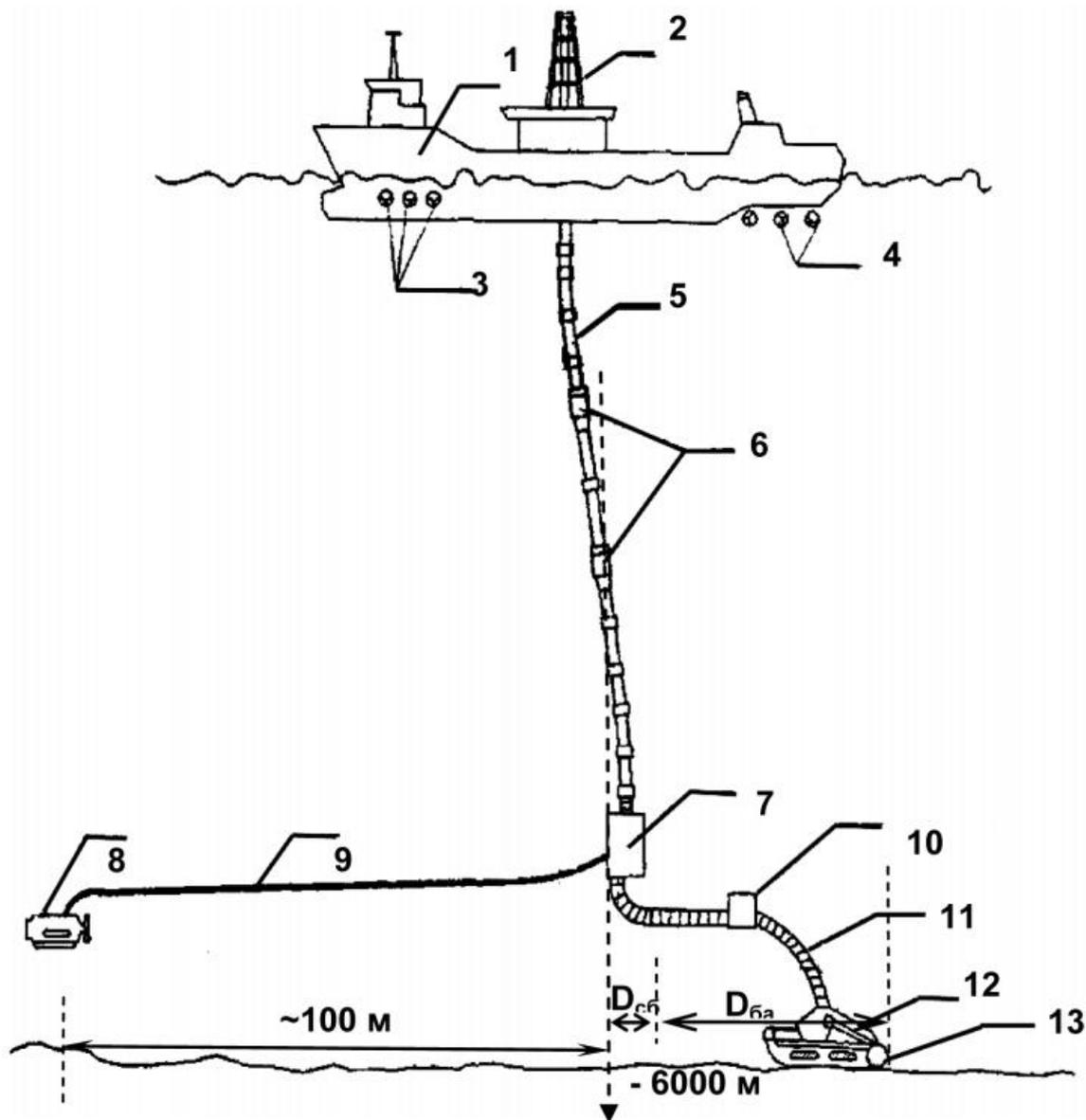
Обычно предлагаемой типичной технологией разработки глубоководных месторождений является эрлифтный способ, представленный на рис. 1.

Россия заканчивает этап поисково-оценочных и разведочных работ в этом районе. Следующим этапом – планируется проведение в ближайшие годы опытно-промышленных работ, затем промышленная добыча ЖМК.

Другими перспективными пелагическими отложениями являются глубоководные илы, содержащие редкоземельные элементы, открытые относительно недавно в Тихом океане на глубинах 3,5 – 6 км, которые сконцентрированы в толще донных осадков мощностью до 10 м.

В 2013 году в японской 200мильной исключительной экономической зоне около острова Маркус экспедицией на судне KAIREI, были проведены исследования вещественного состава илов, в которых подтвердилось наличие редкоземельных элементов, так называемой, иттриевой (или тяжелой) группы, содержащей иттрий и тяжелые лантаноиды от европия до лютеция . Их ресурсы были предварительно оценены как «огромные», а сами илы объявлены новым перспективным источником редкоземельных элементов, необходимых для многих новейших разработок в электронике и других высокотехнологичных сферах, спрос на которые растет во всем мире из года в год. Суммарные ресурсы всей площади по редкоземельным осадкам

составляют около 16 млн тонн. Считается, что этих запасов достаточно, чтобы снабжать весь мир иттрием, европием, тербием и диспрозием в течение нескольких сот лет [4].



**Рисунок 1.** Эрлифтный добычный комплекс: 1 – судно; 2 – вышка для сборки колонны труб; 3 – носовые подруливающие устройства; 4 – кормовые устройства; 5 – колонна труб; 6 – смесители; 7 – буферная платформа; 8 – телеуправляемый подводный аппарат; 9 – кабель-трос; 10 – плавучий блок; 11 – гибкий шланг; 12 – агрегат сбора; 13 – шнековые (или гусеничные) движители агрегата сбора;  $D_{сб}$  – отклонение буферной платформы от вертикали;  $D_{ба}$  – отклонение буферной платформы от агрегата сбора

Однако, главным недостатком глубоководных илов является низкое содержание в них ценных компонентов, но это не является неразрешимой проблемой. Специалистами предложен и исследован относительно простой и недорогой способ обогащения редкометальной породы непосредственно на месте добычи с применением метода гидроциклонной сепарации. При этом в процессе переработки будет осуществляться отделение от шламов фракции крупнее 15 мкм, содержащей минералы концентраты редкоземельных элементов. Исследования показали, что таким образом

можно повысить качество сырья примерно в два раза. Такой подход позволит повысить эффективность разработки, а также снизить стоимость подъема полезного ископаемого на поверхность.

Дальнейшее гранулометрическое разделение, при котором селективно отсортировывалась фракция 38-100мм, позволило обогатить полезное ископаемое до 50 раз. В результате Япония в настоящее время активно ведет геологоразведку этих илов в своих территориальных водах и в ближайшее время планирует начать добычные работы. США также рассчитывают вести добычу редкоземельных илов вблизи острова Кука.

## **Выводы**

Минералогические осадки дна Мирового океана являются огромным потенциальным источником для получения ценных элементов. Однако сдерживающим фактором освоения глубоководных месторождений являются процессы их добычи, связанные с тяжелыми условиями эксплуатации технических средств на глубинах порядка 4-5 км. Они требуют особой технической и технологической идеологии для учета давлений выше 50 МПа, температуры 2-3°C, а также различных локальных факторов в придонной зоне

Поэтому эти работы позволяют геологам, горным инженерам и обогатителям всего мира по-новому взглянуть на минерально-сырьевой потенциал Мирового океана.

## **Библиография**

1. Андреев С. И., Черкашев Г. А. Минеральные ресурсы глубоководных районов Мирового океана: состояние проблемы изучения и освоения // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2018. № 1. С. 10–15.
2. Боровков Ю. А., Дробаденко В. П., Ребриков Д. Н. Основы горного дела; Издательский центр «Академия»; «Академия-Медиа», 2012.
3. Дробаденко В. П., Калинин И. С., Малухин Н. Г. Методика и техника морских геологоразведочных и горных работ. Издательский дом «Ин-Фолио», 2010г.
4. Yutaro Takaya et al. The tremendous potential of deep-sea mud as a source of rare-earth elements// Scientific Reports.2018 V.8. DOI 10.1029/2018GL077090.

***Инновационные технологии для добычи ценного кристаллосырья  
Ефремовцев Н.Н.\* ( Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт проблем комплексного освоения недр им. академика Н.В.  
Мельникова Российской академии наук, p0ee7@mail.ru )***

**Аннотация**

Представлены результаты исследований по научному обоснованию управления дробящим действием взрыва с применением технологий воздействия физическими полями и топливных смесей, содержащих углеводороды и поверхностно активные вещества.

**Ключевые слова**

Микро и нанодисперсные системы, содержащие углеводороды, синергетические эффекты комбинированных воздействий.

**Теория**

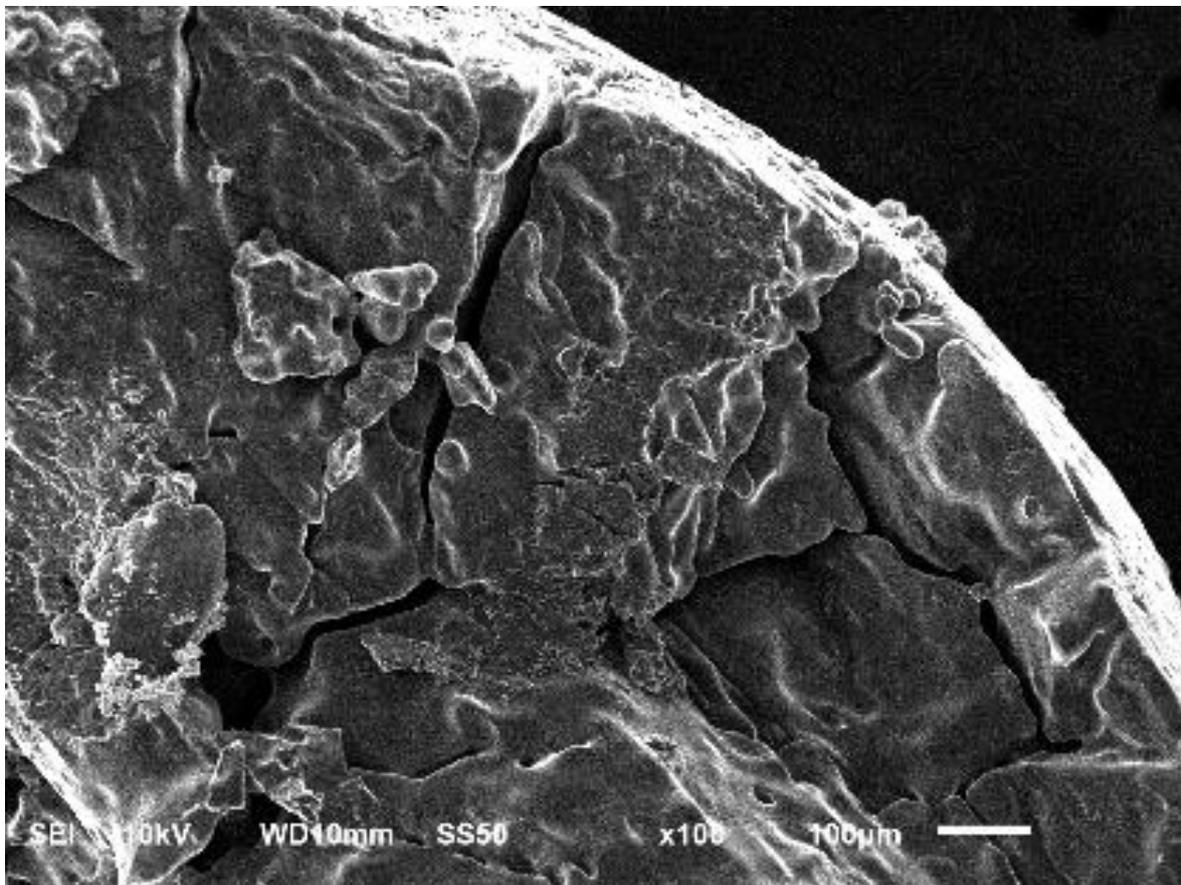
На основе исследований управления структурой компонентов энергонасыщенных материалов на различных масштабных уровнях, конструкций зарядов и их влияния на взрывчатые характеристики аммиачно-селитровых взрывчатых веществ промышленного назначения (ПВВ) в ИПКОН РАН разработаны составы и технологии производства ПВВ, позволяющие существенно расширить возможности управления их взрывчатыми характеристиками [1]. Исследования выполнялись в ИПКОН РАН с привлечением средств гранта инновационного центра Сколково, выделенного ООО «ТехНаНова» в 2017г.

Рассматривалось влияние на микро и наноструктуру гранулированной аммиачной селитры и порошкообразных энергетических добавок магнитоимпульсной обработки, ультразвука (УЗ) и поризующих эмульсий, повышение эффективности ПВВ в зарядах малого диаметра. Проведены исследования влияния комбинированных воздействий УЗ на дисперсный состав и реологические свойства топливных смесей, содержащих углеводороды и поверхностно-активные вещества.

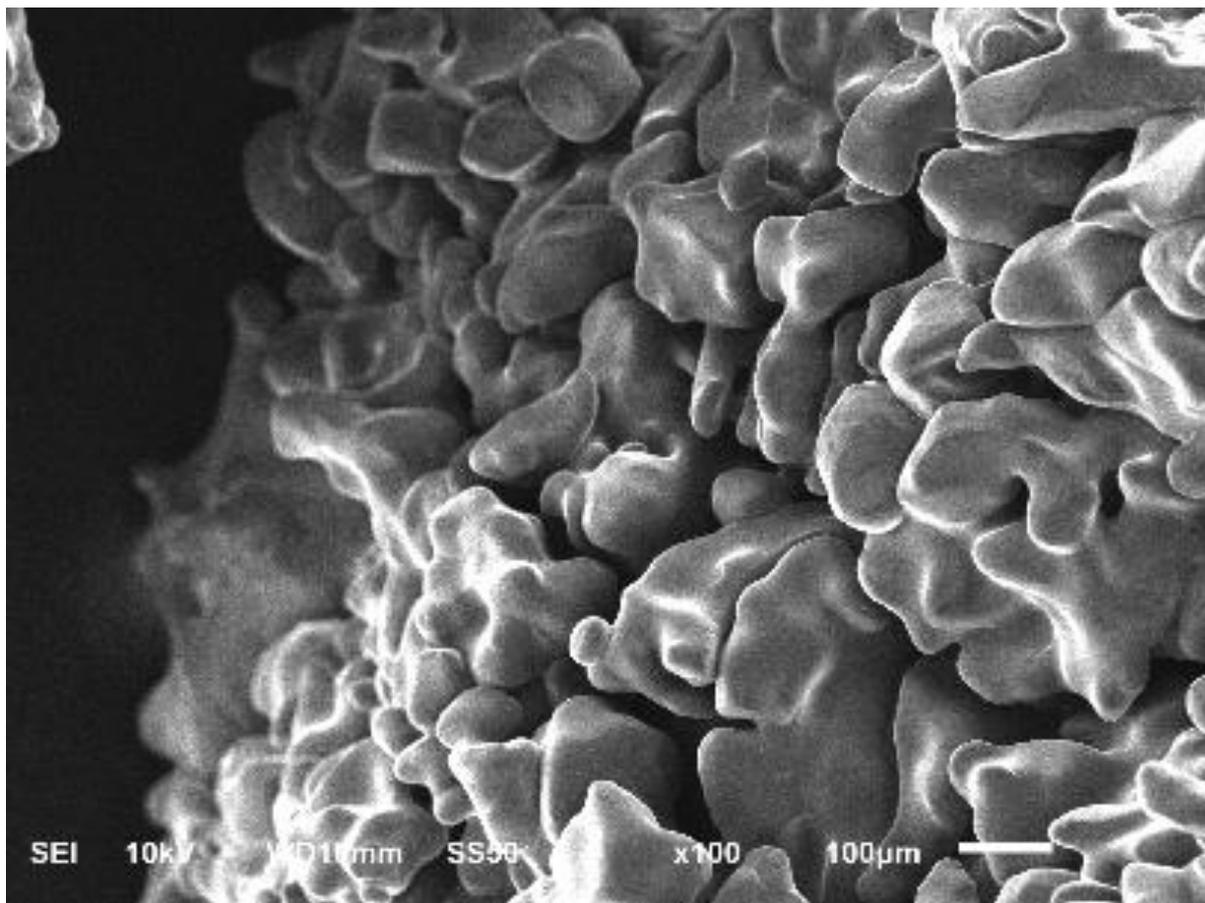
В результате воздействия разработанной эмульсии углеводородов на гранулы плотной аммиачной селитры происходят процессы смачивания границ зерен кристаллической структуры, растворение энергетически напряженных участков поликристаллов, перекристаллизации соли, формирование тонких пленок углеводородной фазы на внешней поверхности и образующихся каналов в объеме гранул ПВВ. При этом площадь соприкосновения топлива и окислителя возрастает более чем в 100 раз, относительно систем, полученных при нанесении индивидуального углеводородного топлива [2], а средний размер кристаллов соли в гранулах АС снижается с 2,5 -3,0 мм до 100 мкм. (см. рас. 1и 2).

Появляется дополнительная сеть центров (горячих точек) передачи детонации. Кроме этого, создаются условия, позволяющие сенсibiliзирующим и энергетическим добавкам вместе с топливной смесью распределяться не только на поверхности гранул АС, но и в объеме окислителя.

Использование разработанной смеси поверхностно-активных веществ и акустической обработки позволяют обеспечить необходимую устойчивость поризующей эмульсии, высокую степень смачивания границ зерен АС как водной, так и углеводородной фазами, управление свойствами, образующихся нано-микро структур в гранулах ПВВ и тонких пленок топлива на поверхности микрокристаллов АС.



*Рисунок 1. Фотография структуры плотной аммиачной селитры Гост 2-85 полученная в ИПКОН РАН до воздействия поризующей эмульсии.*



*Рисунок 2. Фотография структуры плотной аммиачной селитры после воздействия порирующей эмульсии топливной смеси, содержащей углеводороды и поверхностно-активные вещества*

## Выводы

В результате исследований установлено, что комбинированные физико-химические воздействия с применением акустической обработки в сочетании с поверхностно-активными веществами приводит к увеличению в 10,5 раза содержания нано-микро дисперсных фракций порошкообразной энергетической добавки менее 0,1 мкм и 0,35 мкм. Возрастает стойкость эмульсии, а средний размер ее глобул снижается с 11 мкм до 5, 6 мкм. Вязкость топливной смеси снижается в 6-10 раз по сравнению с исходной вязкостью отработанного масла, используемого в производстве ПВВ. В результате повышается скорость проникновения в структуру гранул окислителя топливной смеси с сенсibiliзирующими энергетическими добавками и увеличивается толщина иммобилизационного слоя топлива вокруг кристаллитов аммиачной селитры.

Выявлены и систематизированы синергетические эффекты комбинированных воздействия на структуру компонентов энергоемких материалов на нано, микро и макроуровне, а также влияния параметров конструкции зарядов с воздушными промежутками и геометрических параметров взрывааемых блоков [3].

В производственных условиях и на полигонах испытаны новые составы топливных смесей и ПВВ с иерархической структурой компонентов и центров передачи детонации. Найдены режимы комбинированной обработки ПВВ физическими полями, при которых существенно сокращается критический диаметр детонации и возможно

производство патронированных ПВВ, не содержащих индивидуальные взрывчатые материалы с малым диаметром, обеспечивающих снижение экологических последствий взрывных работ, устойчивую детонацию с оптимальной кинетикой выделения энергии, для добычи ценного кристаллосырья и руд редких и редкоземельных металлов.

Исследования дробящего действия новых составов ПВВ и различных конструкций зарядов осуществлялись с применением разработанных в ИПКОН РАН методики, испытательных стендов и композиционных имитационных моделей, а также с использованием численных методов SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics, SPH) [4].

Данные, полученные в процессе физических экспериментов на полигоне с использованием композиционных имитационных моделей и в производственных условиях, сопоставляются с рассчитанными при компьютерном моделировании параметров поведения геоматериалов при взрывных нагрузках. Установлены закономерности изменения во времени фрагментации, давления продуктов детонации, тангенсальных и радиальных напряжений в различных зонах действия энергии взрыва зарядов шадящего и дробящего действия с различной плотностью, диаметром и размерами воздушных промежутков.

### **Библиография**

1. Ефремовцев Н.Н. Методические вопросы исследования дробящей способности взрывчатых веществ // Взрывное дело. – 2015. -№ 113 (70). - С. 96 -106.
2. Ефремовцев Н.Н., Ефремовцев П.Н. К вопросу управления структурой аммиачной селитры на различных масштабных уровнях для повышения эффективности действия взрыва. // Взрывное дело, № 129/86. - С. 178-187.
3. Ефремовцев Н.Н. Вопросы систематизации синергетических эффектов на различных масштабных уровнях для повышения эффективности действия взрыва. Проблемы и перспективы комплексного освоения и сохранения земных недр.4 конференция международной научной школы академика РАН К.Н. Трубецкого. 16-20 ноября 2020г. Москва. – С.79-81.
4. Ефремовцев Н.Н., Шиповский И.Е. Исследование закономерностей дробления удлиненными зарядами с применением композиционных моделей и численного моделирования методом сглаженных частиц // Взрывное дело - 128/85. - С. 20-37. (РИНЦ) DOI.

***Некоторые положения выбора выемочно-погрузочного оборудования и высоты уступа при разработке месторождений***

***Жабборов О.И.\* (Навоийский ГМК, Узбекистан, OI.Jabborov@ngmk.uz), Куролов А.А. (Навоийский ГМК, Узбекистан, a\_kurolov@ngmk.uz), Тухташев А.Б. (НГГИ, Узбекистан, a.tukhtashev79@mail.ru)***

**Аннотация**

В данном тезисе рассмотрено изменение показателя потерь и разубоживание руды при отработке мелкомасштабных месторождений в зависимости от высоты уступа при мощности рудного тела  $m=2$ м.

**Ключевые слова:**

Рудное тело, мощность, высота уступа, Microsoft Excel.

**Теория:**

Современное горно-металлургическое производство появлением новых потребностей сталкивается с проблемами обеспечения перерабатывающих мощностей исходной рудой, что обеспечения стабильности выпуска золота, а также с учетом истощения запасов крупных золоторудных месторождений возникает необходимость вовлечения в отработку запасов месторождений среднего и мелкого масштаба с маломощными рудными телами. В мировой практике при отработке рядов золоторудных месторождений мелкого и среднего размеров в практике сложившихся случаях отработки маломощных рудных тел мелкомасштабных золоторудных месторождений содержание металла в добытой руде может быть настолько низким, что переработка ее окажется нецелесообразной, а для минимизации показателей потерь и разубоживания руды и металла при отработке достигается с применением следующих методов:

- применение оборудования малого размера (малые объемы ковша);
- уменьшение параметров системы разработки;
- внедрение АСУ за работой экскаваторов и др.

Для определения оптимальной высоты добычного уступа и в зависимости от высоты уступа выбора выемочно-погрузочного оборудования предлагается использовать новую графоаналитическую модель, разработанной в программе Microsoft Excel. Нами на основе ранее проведенных исследований и разработанной методики определены показатели потерь и разубоживания руды для условно принятого месторождения со следующими параметрами, приведенными в табл. №1.

Таблица №1.

Эксплуатационные показатели руды при мощности рудного тела  $m=2$  м

Высота уступа, м	Вовлекаемые балансовые (геологические) запасы			Потери, П, %	Разубо-живание, Р, %	Эксплуатационные запасы		
	Запасы руды, тыс. т	Сред. сод., г/т	Металл, кг			Запасы руды, тыс.т	Сред. сод., г/т	Металл, кг
6,0	2 500.0	1.6	4 000.0	18.80	48.60	3 949.42	0.82	3 248.0
5,0				15.60	43.10	3 708.26	0.91	3 376.0
4,0				12.50	36.90	3 466.72	1.01	3 500.0
3,0				9.50	29.60	3 213.78	1.13	3 620.0
2,5				7.90	25.60	3 094.76	1.19	3 684.0
2,0				6.30	21.30	2 976.49	1.26	3 748.0

На основе полученных расчетных данных построена зависимость изменения показателей потерь и разубоживания руды рис. 1.

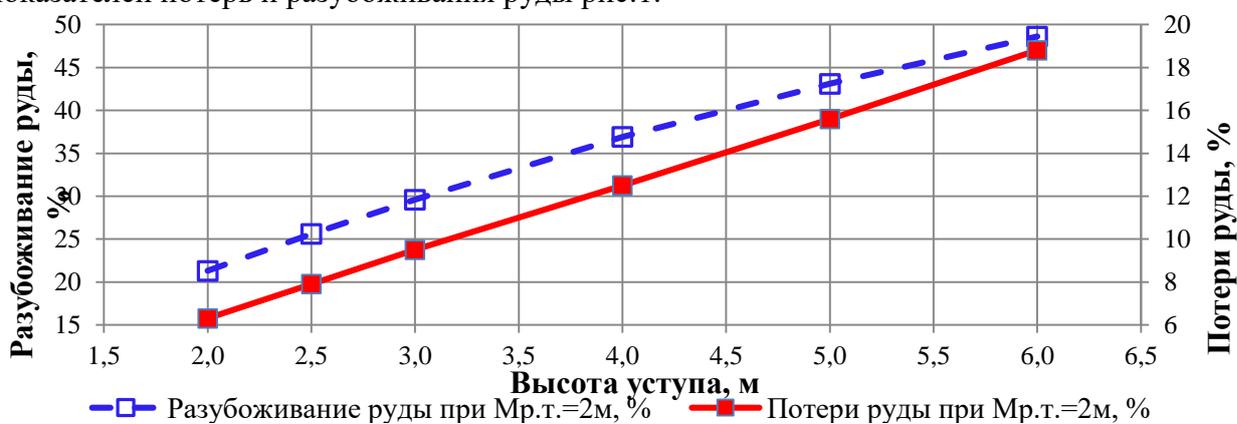


Рисунок 1. Изменение показателей потерь и разубоживания руды в зависимости от высоты уступа при мощности рудного тела  $m = 2$  м.

#### Выводы:

1. Как видно из вышеприведённых таблиц 1, также рис. 1 с уменьшением высоты добычного уступа достигается получение следующих положительных результатов.

- уменьшение коэффициента потерь руды и разубоживания руды;
- увеличение среднего содержания металла в руде и количества металла в целом.

2. Для достижения вышеуказанных результатов необходимо на стадии проектирования правильно рассчитать и подобрать высоту уступа и соответствующее на эту высоту уступа выемочно-погрузочное оборудование. В данном рассматриваемом случае высота добычного уступа должна быть в пределах 2 м и соответственно вместо традиционных 5-6 м<sup>3</sup> экскаваторов должны быть использованы экскаваторы еще меньшей вместимостью ковша или даже небольшие погрузчики эффективно работающие при высоте добычного около 2 м.

3. В качестве выемочно-погрузочных единиц на карьерах при отработке маломощных рудных тел необходимо рассмотреть возможность использования фронтальных погрузчиков, механических лопат с обратным ковшом специальной конструкции, экскаваторов, работающих при высоте уступа 2-3 м.

4. Результаты данного исследования свидетельствуют о том, что высота уступа оказывает самое большое значение при отработке мелкомасштабных месторождений, особенно для месторождений с маломощными рудными телами, параметры которых может привести к большим потерям запасов руды и ее качества, поэтому в настоящее время в связи с больше вовлечением в отработку мелкомасштабных золоторудных месторождений значимость выбора выемочно-погрузочного оборудования и высоты уступа будет расти.

**Библиография:**

1. Трубецкой К.Н., Краснянский Г.Л., Хронин В.В. Проектирование карьеров. Том 1. Издательство академии горных наук – 2001 – С. 494-500.

***Основные факторы выбора техники и технологии отработки мелкомасштабных маломощных месторождений Ауминзо-Амантайтауского рудного поля  
Жабборов О.И.\* (Навоийский ГМК, Узбекистан, OI.Jabborov@ngmk.uz) Куролов А.А.  
(Навоийский ГМК, Узбекистан, a\_kurolov@ngmk.uz), Тухташев А.Б. (НГГИ,  
Узбекистан, a.tukhtashev79@mail.ru)***

**Аннотация**

В данном тезисе рассмотрены вопросы выбора выемочно-погрузочного оборудования при отработке мелкомасштабных золоторудных месторождений Ауминзо-Амантайтауского рудного поля.

**Ключевые слова**

Запасы, мелкомасштабные месторождения, выемочно-погрузочное оборудование.

**Теория**

Отдаленность и малые объемы запасов руды, а также маленькие мощности рудных тел отдельных месторождений, обрабатываемых рудником Ауминзо-Амантой требует применения техники и технологии отвечающих следующим требованиям:

- оборудования должны быть мобильными, не требующих строительство отдельных подъездных путей;
- отсутствие необходимости прокладки инженерных коммуникаций (ЛЭП, линии технической воды, газопровода и др.);
- оборудования должны иметь технические характеристики, которые могли позволить их использовать на склонах гористой местности;
- оборудование должно обеспечить максимальное использование всего горнотранспортного оборудования;
- возможность использования транспортного оборудования с другими погрузочными оборудованями (использование фронтальных погрузчиков на карьере);
- обеспечить максимальное извлечение руды с сохранением ее качества.

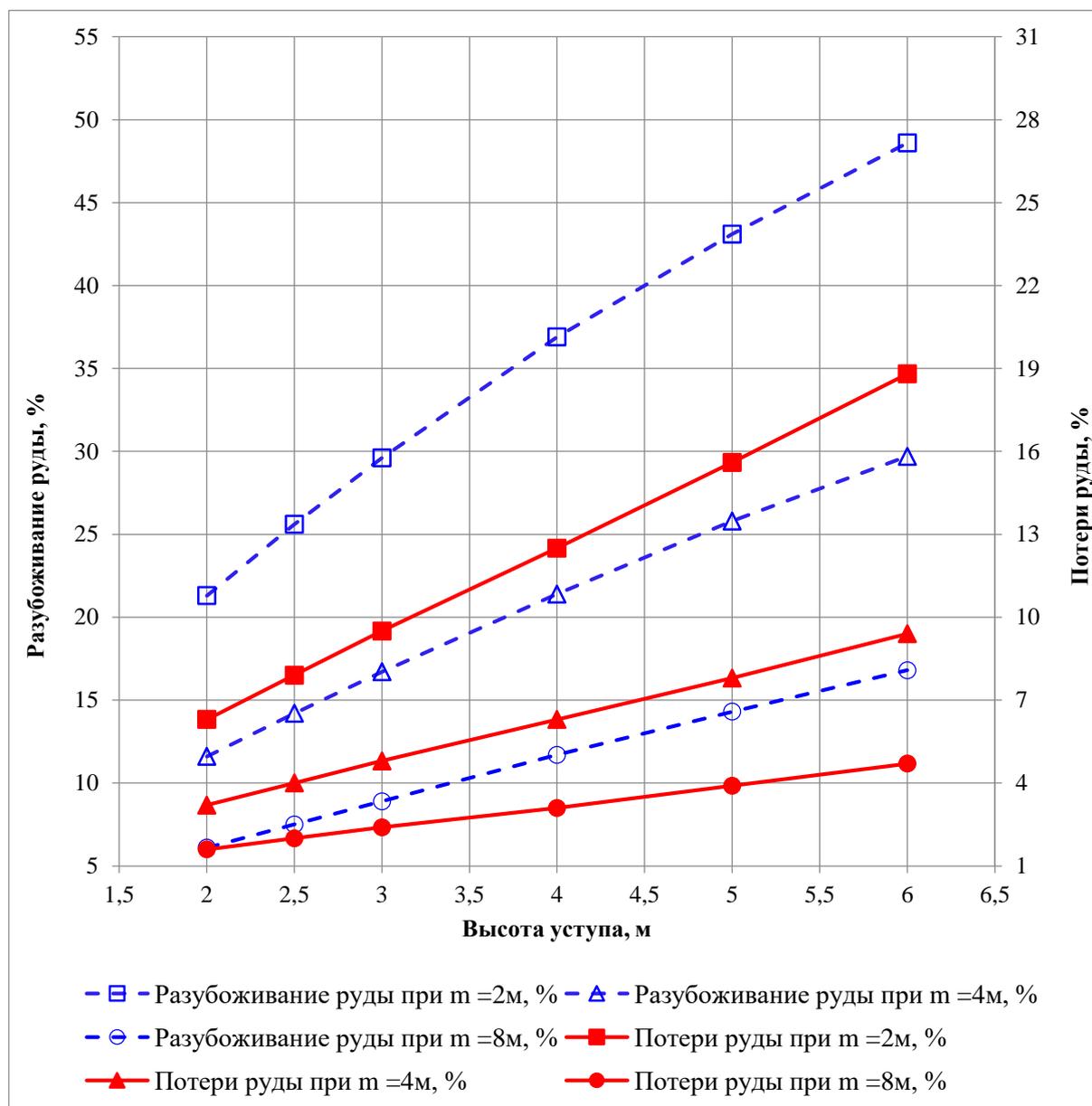
Средняя мощность рудных залежей месторождений Ауминзо-Амантайтауского рудного поля изменяется в пределах среднем от 5 до 10 м при колебаниях от 2 м в пережимах, до 54 м в раздувах. Длина залежей рудных тел по простиранию разные и изменяются от 15-30 до 1000 м, по падению от 25 до 200-250 м. Падение залежей составляет 30-85°. Параметры системы разработки во всех участках:

- высота (рабочего) уступа – 5 м;
- угол откоса рабочего уступа при формировании и погашении – 55-65°;
- углы откосов бортов карьеров – 31-44° иногда до 55°;

- минимальная ширина предохранительных (очистных) берм – 8-10 м.

Исходя из условий залегания рудных тел месторождений Ауминзо-Амантайтауского рудного поля в проектах отработки принята транспортная система разработки с перемещением пород вскрыши во внешние отвалы. Выемка горной массы производится экскаватором аналога EX 1200-6, которые хорошо работают при высоте добычного и вскрышного уступа высотой 5 м и более.

Выполнив расчеты по разработанному алгоритму, получаем соответствующие значения потерь, разубоживания и эксплуатационные параметры руды для условно принятых исходных параметров построена зависимость изменения показателей потерь и разубоживания руды при мощности рудного тела  $m = 2$  м,  $m = 4$  м и  $m = 8$  м (рис.1).



**Рисунок 1.** Изменение показателей потерь и разубоживания руды в зависимости от высоты уступа при мощности рудного тела  $m = 2$  м,  $m = 4$  м и  $m = 8$  м

Для условий отработки мелкомасштабных золоторудных месторождений Ауминзо-Амантайтауского рудного поля в целях уменьшения значений потерь и

разубоживания руды предлагается внедрение следующей технологии ведения горных работ с учетом следующих мер:

- потери и разубоживание руды частично зависит от типа применяемого выемочно-погрузочного оборудования и с какой стороны обрабатывается рудное тело (висячий бок, лежащий бок, по простиранию и под углом к простиранию рудных тел);

- в целях уменьшения потерь и разубоживания предлагается использование уступов высотой 2,0 м, 2,5 м, 3,0 м, 4,0 м и 5,0 в зависимости от средней мощности обрабатываемого рудного тела;

- в целях рационального освоения мелкомасштабных месторождений Ауминзо-Амантайтауского рудного поля предлагается рассмотреть использование мехлопат с обратным ковшом на предмет изучения возможного снижения потерь и разубоживания;

- каждое мелкомасштабное месторождение необходимо дополнительно изучить на определение сложности приконтактных зон;

- необходимо рассмотреть использование фронтальных погрузчиков или имеющихся в наличии строительных экскаваторов.

Необходимо сказать, что выемочно-погрузочное оборудование необходимо выбирать в зависимости от высоты добычного и вскрышного уступа, соответственно элементы и параметры системы разработки должны быть определены в зависимости от параметров горнотранспортного оборудования.

На наш взгляд оптимальные показатели потерь и разубоживания руды достигаются путем уменьшения высоты добычного уступа при отработке рудных тел малой мощности. Для отработки рудных тел мощностью 2 – 2,5 м рекомендуемая высота добычного уступа должна быть не более 2 м, при мощности рудных тел 3 – 4 м соответственно 3 м, при мощности рудного тела 4 – 6 м высота добычного уступа 4 м а при мощности рудных тел 7 – 8 м высота добычного уступа должна составлять 5 м.

## **Выводы**

Исследования показывают, что основным фактором определяющие выбора техники и технологии открытых горных работ является высота добычного уступа, которая определяется в зависимости от мощности рудного тела и в свою очередь определяет применяемый вид выемочно-погрузочного оборудования.

## **Библиография**

1. Тухташев А.Б. Отчеты по научно-исследовательской работе на тему «Разработка ресурсосберегающей технологии для освоения мелкомасштабных и отдаленных от инфраструктуры месторождений». Навои 2020;
2. Рахимов В.Р, Шеметов П.А., Федянин А.С. Разработка маломасштабных месторождений золота в сложных условиях Центральных Кызылкумов // Горный журнал. 2012. № 6. С. 65-70.
3. Тухташев А.Б., Назаров З.С., Жабборов О.И., Зарипова Ф.Б. Обоснование параметров потерь и разубоживания при разработке мелкомасштабных месторождений Ауминзо-

- Амантайтауского рудного поля // Горный вестник Узбекистана. – Навои, 2020. – №3. – С. 44-46.
4. Ржевский В.В. Процессы открытых горных работ. – Москва «Недра» - 1978. С. 18-20.
  5. Трубецкой К.Н., Краснянский Г.Л., Хронин В.В. Проектирование карьеров. Том 1. Издательство академии горных наук – 2001 – С. 494-500.

*Изучение изменения фильтрационных характеристик скважин Северо-Ставропольского подземного хранилища газа в хадумском горизонте по данным газогидродинамических исследований*

*Жулин Н.Д.\* (Северо-Кавказский федеральный университет, pr0sto.ts@yandex.ru), Ерёмина Н.В. (Северо-Кавказский федеральный университет yeriominasai@mail.ru), Киселева Т.С. (Северо-Кавказский федеральный университет tatiana.camellia@yandex.ru)*

#### **Аннотация**

Целью исследования является изучение и анализ динамики изменения фильтрационной характеристики и неоднородности залежи хадумского горизонта Северо-Ставропольского ПХГ за период разработки и эксплуатации ее в режиме хранилища. При проведении анализа использовалась статистическая обработка данных газогидродинамических исследований скважин. Исследования подтвердили воздействие техногенных процессов на продуктивные характеристики скважин, что требует организации мониторинга изменения фильтрационных параметров пласта при дальнейшей циклической эксплуатации ПХГ.

#### **Ключевые слова**

Подземное хранилище газа, фильтрационная характеристика, газогидродинамические исследования скважин

#### **Источники финансирования**

Исследование выполнено в рамках студенческой научно-исследовательской работы

#### **Теория**

Залежь газа в хадумском горизонте, которая длительное время используется в качестве подземного хранилища газа, относится к группе ПХГ, созданных в истощенных месторождениях [3].

Одно из крупнейших подземных газовых хранилищ ССПХГ – хадум расположено на территории Изобильненского района Ставропольского края и создано в истощенном Северо-Ставропольско-Пелагиадинском газовом месторождении в хадумском горизонте.

Отличительными особенностями ПХГ в хадумском горизонте являются: большая площадь газоносности, центрально-групповое расположение скважин в наиболее продуктивной зоне «сухого поля», малая активность пластовых вод. Режим работы – газовый.

Тектонически ПХГ-хадум приурочено к двум поднятиям платформенного типа – Северо-Ставропольскому и Пелагиадинскому, соединенным неглубокой седловиной.

Хадумский горизонт разделяется на три пачки. II пачка – является основным продуктивным горизонтом на ПХГ, и во всех скважинах очень четко выделяется на каротажных диаграммах и по керновому материалу.

Общая толщина хадумских отложений на площади колеблется в пределах 68-15 м и зависит, в основном, от степени размыва пород белоглинского горизонта, подстилающих хадумский горизонт.

Проведен анализ распределения значений коэффициентов фильтрационных сопротивлений А и В [1]. Установлено, что по всему ПХГ наблюдаются существенные вариации коэффициента А по скважинам как западной, так восточной частей хранилища. Так пределы численных значений коэффициента А западного поля залежи (ЗП) изменяются от 0,5 до  $2 \cdot 10^{-2}$  МПа<sup>2</sup>, восточного (ВП) – от 0,1 до  $2 \cdot 10^{-2}$  МПа<sup>2</sup>. Что касается коэффициента В, то для него характерны не существенные вариации по скважинам отдельного взятого ГРП и его значение в пределах западного и восточного полей принимается ( $<0,0005$ )  $\cdot 10^{-2}$  МПа<sup>2</sup>.

Основной объем данных лежит в определенном интервале для каждого ГРП и контролируется особенностями геологического строения коллектора и конструкцией эксплуатационных скважин.

Повышенные фильтрационные характеристики скважин зафиксированы для ГРП 7, ГРП 8 и ГРП 14, расположенных в виде полосы, протягивающейся с севера на юг к куполу. Ухудшение фильтрационных характеристики скважин наблюдается для ГРП 1, ГРП 6, ГРП 13, расположенных на южной и северной периклиналях складки.

Проведен анализ результатов ГДИ 50 скважин «старого» и «нового» фонда ГРП 1 и 56 скважин «старого» и «нового» фонда ГРП 2.

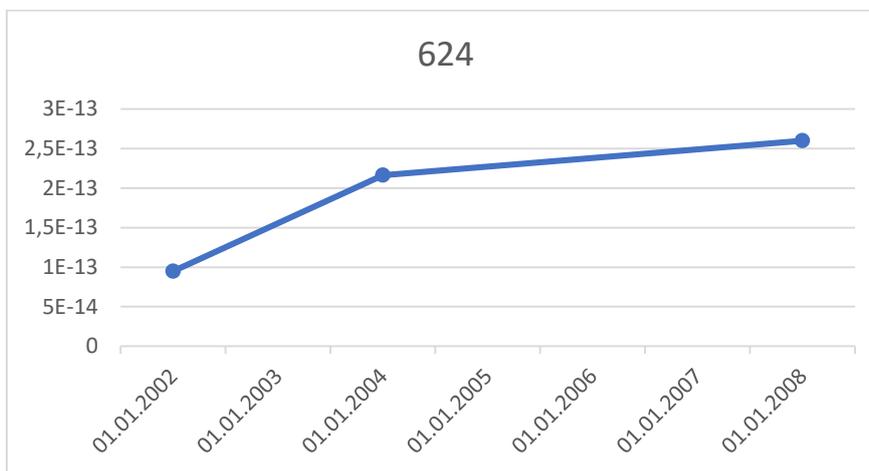
По методике обработки ГДИ газовых скважин рассчитаны фильтрационные характеристики, проведен анализ динамики изменения проницаемости газовых скважин на Северо-Ставропольском ПХГ. Рассмотрено влияние работ по повышению продуктивности эксплуатационных скважин на величину проницаемости.

В результате анализа было установлено, что на ГРП 1 при промывке песчаных пробок и дополнительной перфорации проницаемость призабойной зоны скважины увеличивается.

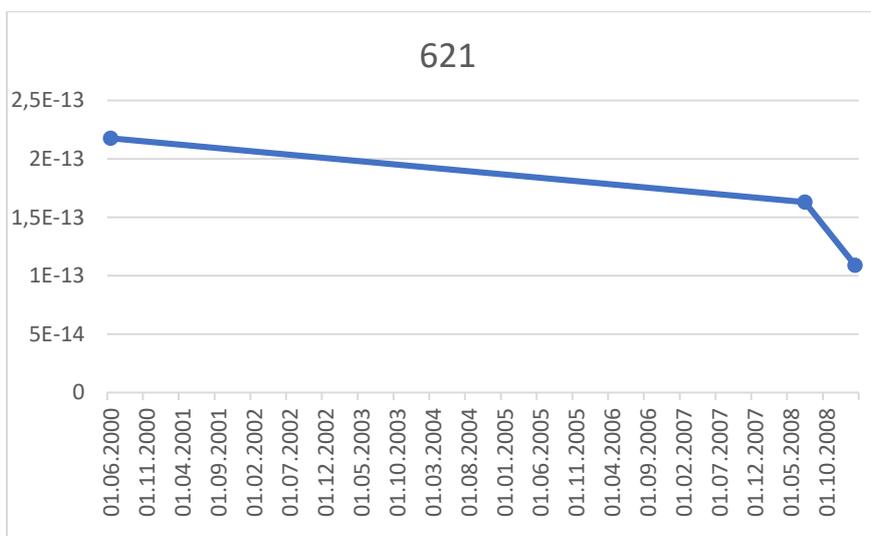
На ГРП 2 полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что проницаемость скважин увеличивается при проведении дополнительной перфорации, обработке различными растворами, промывке песчаных пробок. Лишь в трех скважинах при промывке песчаной пробки не зафиксирован положительный эффект (27 % от общего количества проанализированных случаев). В большинстве случаев все проводимые мероприятия увеличивают проницаемость продуктивного пласта. Дострел скважин с низкими дебитами, показал прирост дебитов газа и улучшение продуктивной характеристики от 1,2 до 2,5 раз.

По скважинам «старого» и «нового» фонда по ГРП 1 проанализированы данные по ГДИ за длительный период эксплуатации залежи (с начала разработки до 2010 г. включительно).

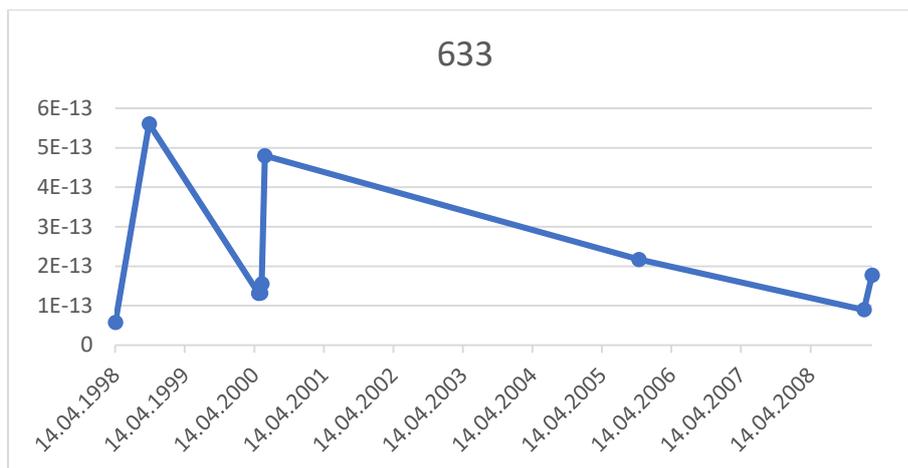
Результаты исследований позволили скважины разделить на три группы, где наблюдается во времени: для первой - увеличение коэффициента проницаемости, включает 22 скважины, что составляет 44 % от количества всех скважин ГРП (рисунок 1); для второй – уменьшение коэффициента проницаемости, включает 10 скважин, что составляет 20 % от количества всех скважин ГРП (рисунок 2); для третьей не наблюдается выраженная направленность изменения коэффициента проницаемости 10 скважин, что составляет 20 % от количества всех скважин ГРП (рисунок 3).



**Рисунок 1.** Динамика изменения коэффициента проницаемости скважины 624 («новый» фонд ГРП 1)



**Рисунок 2.** Динамика изменения коэффициента проницаемости скважины 621 («новый» фонд ГРП 1)



**Рисунок 3.** Динамика изменения коэффициента проницаемости скважины 633 («новый» фонд ГРП 1)

Для 8 скважин, что составляет 16 % от количества всех скважин ГРП скважин не представляется возможным провести анализ изменения проницаемости во времени, так как ГДИ для них проведен один раз. Таким образом, для большей части скважин можно констатировать увеличение фильтрационных свойств призабойной зоны во времени.

Таким образом, высказывавшаяся ранее гипотеза о том, что интенсивная циклическая эксплуатация подземных хранилищ газа приводит к изменению фильтрационных свойств резервуара, в частности, к образованию в нем зон повышенной проницаемости [2, 4] не опровергается.

## Выводы

Проведенные исследования подтверждают масштабность и долговременность процессов, приводящих к изменению ёмкостно-фильтрационных свойств продуктивного пласта и продуктивных характеристик скважин, вследствие воздействия техногенных процессов, связанных с циклической эксплуатацией газового хранилища.

В связи с этим очевидна необходимость проведения мониторинга изменения фильтрационно-ёмкостных параметров пласта и продуктивных характеристик скважин при циклической эксплуатации резервуара Северо-Ставропольского ПХГ.

## Библиография

1. Анализ изменения фильтрационной характеристики продуктивного пласта по результатам данных газогидродинамических исследований скважин Северо-Ставропольского ПХГ в хадумском горизонте / Еремина Н.В., Жулин Н.Д., Киселева Т.С., Еськова П.В. // Инновационные технологии в нефтегазовой отрасли. Проблемы устойчивого развития: сборник трудов Международной научно-практической конференции/ ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет».- Ставрополь: АГРУС Ставропольского гос. Аграрного ун-та, 2020. – 492 с. [ISSN 978-5-9596-1697-7].
2. Определение емкостно-фильтрационных свойств отложений хадумского горизонта Северо-Ставропольского ПХГ по геолого-промышленным данным в период закачки газа / Еремина Н.В., Голованов К.С., Гридин В.А., Стерленко З.В., Рожнова А.А., Уманжинова К.В. // Газовой отрасли – энергию молодых ученых: тезисы докладов V

научно-практической конференции молодых ученых и специалистов. – г. Ставрополь, 23-26 сентября 2013. – с. 126-129.

3. Особенности формирования газонасыщенного объёма хадумского подземного резервуара Северо-Ставропольского ПХГ / Еремина Н.В., Зиновьев В.В., Васильев В.А., Гридин Р.В., Стерленко З.В. // Вестник Северо-Кавказского государственного технического университета № 3 (32), изд-во Сев-КавГТУ. Ставрополь, 2012- С. 80-85;
4. Особенности эксплуатации Северо-Ставропольского подземного хранилища газа // Зиновьев В.В., Игнатенко Ю.К., Варягов С.А. и др. // Обзорная информация. Серия «Геология и разведка газовых и газоконденсатных месторождений». М.: ИРЦ ОАО «Газпром», 2002. 91 с.

*Исследование потенциала и эффективности применения возобновляемой энергии на горных предприятиях Республики Узбекистан*

*Зохидов О.У.\* (Навоийский государственный горный институт, e-mail: odil\_boss85@mail.ru), Меркулов М.В. (Российский государственный геологоразведочный университет (РГГРУ-МГРИ), e-mail: mvm.07@mail.ru)*

**Аннотация**

Современное развитие горной промышленности в Узбекистане характеризуется ростом потребления энергии, связанным с освоением новых месторождений полезных ископаемых, находящихся в отдаленных и труднодоступных районах. Централизованное электроснабжение в таких регионах обходится дорого, а в ряде случаев просто невозможно. В этих условиях использование возобновляемой энергии, запасы которой значительны, может быть вполне эффективно.

**Ключевые слова:**

Электроснабжение, ветрогенератор, механическая энергия, солнечная энергия, ГЭС малой мощности, Микро ГЭС, локально-сорбционная установка, горные предприятия.

**Теория**

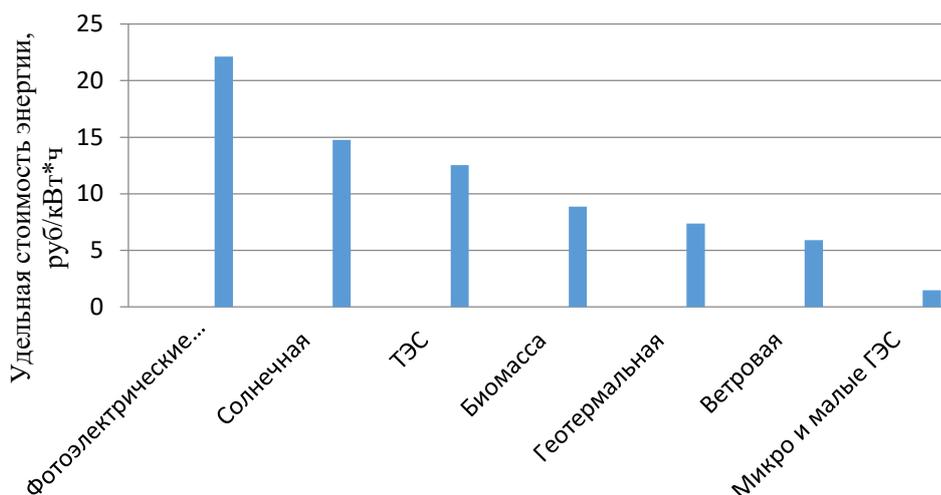
Анализ данных позволил установить, что для выработки 1 кВт\*ч электрической энергии используется приблизительно 0,3 кубометр природного газа, или около 2,5 килограмм угля. Кроме того, процесс производства электроэнергии требует перемещение больших объемов сырья по магистральным сетям, распределение по потребителям и организацию вспомогательного производства, что весьма трудоемко [1].

Повышение эффективности работы горных предприятий за счет снижения затрат на энергоснабжение возможно на основе широкого использования возобновляемых источников энергии, так как регионы Узбекистана обладают значительными запасами возобновляемой энергии. В качестве возобновляемых источников энергии используются энергия ветра, воды, а также солнечная лучевая энергия, химическая энергия биомассы, тепловая энергия верхних слоев земной коры и т.д.

По данным экспертным оценкам потенциал возобновляемых источников энергии Узбекистана составляет около 51 млрд. тонн нефтяного эквивалента (н. э.), технический потенциал – 182,32 млн. тонн н.э., что в 3,1 раза превосходит текущий годовой объем добычи первичных энергетических ресурсов.

На сегодняшний день около 97% (то есть 176,8 млн. тонн н.э.) потенциала приходится на солнечную энергию. На остальные виды ВИЭ приходится всего 3% технического потенциала. Вместе с тем наиболее освоенным является потенциал малой гидроэнергетики (31,3% от технического потенциала и 13,3% от валового потенциала), что связано с более высокой экономической эффективностью этого вида альтернативной энергии [2].

Ниже на рисунке 1 представлены современные удельные стоимости энергии при его получении различными методами. Из гистограммы наблюдается что, применение микро и малых ГЭС позволяет получить электроэнергию с наименьшей стоимостью.



**Рисунок 1.** Гистограмма удельной стоимости энергии при получении их различными методами.

В республике 12 областей, разница продолжительности солнечного сияния для каждой области в пределах от 2410 до 3090 часов в году, с колебаниями в течение суток сезонов года, с продолжительностью летом 11 часов и зимой 4 часа.

Летом и зимой в Узбекистане имеет место разница поступления суммарной солнечной радиации, летом 27 МДж/м<sup>2</sup>, а зимой 7 МДж/м<sup>2</sup>. По количеству солнечных дней в году Узбекистан превосходит южную Испанию, где солнечная энергетика является развитой. Одна треть года может считаться холодным временем года, остальное время года отличается высоким уровнем солнечного излучения.

Наличие потенциала солнечной энергии предопределяет основные направления его использования: преобразование солнечной энергии в низкопотенциальное тепло и его использование для нужд теплоснабжения, фотоэлектрическое и термодинамическое преобразование солнечной энергии для получения электричества.

Учитывая сложные климатические процессы, энергия ветра имеет сезонный характер. В Ферганской долине удельная мощность ветрового потока равна 20,0 Вт/м<sup>2</sup>, а в Навоийской области 104,0 Вт/м<sup>2</sup>. Среднее значение ветрового потока республики равно 84,0 Вт/м<sup>2</sup>. Распределение по территории общей продолжительности энергоактивных (3 м/с и более) скоростей ветра аналогично распределению средних скоростей [3]. Максимальная длительность (6–8 тыс. часов за год) характерно для побережий и гребневой зоны горных хребтов. В пустынных районах скорость наблюдается в течение 3–4 тыс. часов, в Ферганской долине – около 1500 часов.

Самое большое значение характерно для республики Каракалпакстан. Оно составляет 0,92 млн. тонн н.э. в год. Самое маленькое значение характерно для Ферганской долины, оно составляет – 0,02 и 0,04 млн. тонн н.э. в год. Попытки использования ветроэнергетических установок (ВЭУ) различной мощности в разных географических точках Узбекистана (удаленные районы Навоийской и Бухарской областей, вблизи Фархадской ГЭС в Сырдарьинской области) в прошлом не дали ожидаемых результатов из-за отсутствия серьезного научно-технического обоснования проектов. В Узбекистане активно используются ветроэнергетические установки серийного изготовления малой мощности. В предгорной зоне от 3,0, а на равнинной

местности до 6,0 кВт. Оценка потенциала энергии ветра проводилась по данным наблюдений скоростей ветра метеостанциями Узбекистана только на небольшой высоте (10 м) [4].

Энергетическим потенциалом в республике, обладают крупные бассейны с гидротемальными водами. На глубине от 4 до 6 км расположены очень большие массивы гранитоидов. Они нагреты до 300 градусов по Цельсию. Расчеты валового потенциала показали, что валовый потенциал геотермальной энергии составляет 6 700 000 млн. тонн н.э.

Ежегодный валовый энергетический потенциал биомассы оценивается от 1,1 до 2,2 млн. тонн н.э., технический потенциал (при использовании технологии термохимической конверсии биомассы) – от 0,13 до 0,26 млн. тонн н.э. Общий потенциал биогаза в республике оценивается в объеме 8,9 млрд. м<sup>3</sup>. По теплотворной способности это соответствует 6,5 млрд. м<sup>3</sup> природного газа, что составляет свыше 10% годовой потребности республики в энергоресурсах.

Предварительные проработки показали, что наиболее приемлемым направлением использования биомассы в Узбекистане является организация производства биогаза путем переработки биомассы и органических отходов предприятиями сельского хозяйства. Это дополнительный автономный источник энергии, уменьшающий выбросы парниковых газов и снижающих экологический ущерб, позволяющий создать экологически замкнутую энергетическую систему.

Всего в республике 656 рек. Их общая площадь водосбора порядка 83369 км. Данная площадь водосбора по мощности равна 12 231 МВт в год. Существующие в мире на сегодняшний день техника и технологии (технический потенциал) позволяют использовать одну четвертую часть валового потенциала, то есть более 7221 МВт установленных мощностей с годовой выработкой 27 млрд. кВт ч [5].

Потенциал малых рек в Республике, водохранилищ и крупных каналов относительно невысок. Он составляет всего 2% от общего объема первичных энергетических ресурсов и 13% от общего валового потенциала гидроэнергетических ресурсов страны. Не обладает достаточной устойчивостью, поскольку зависит от климатических условий и уровня водности года.

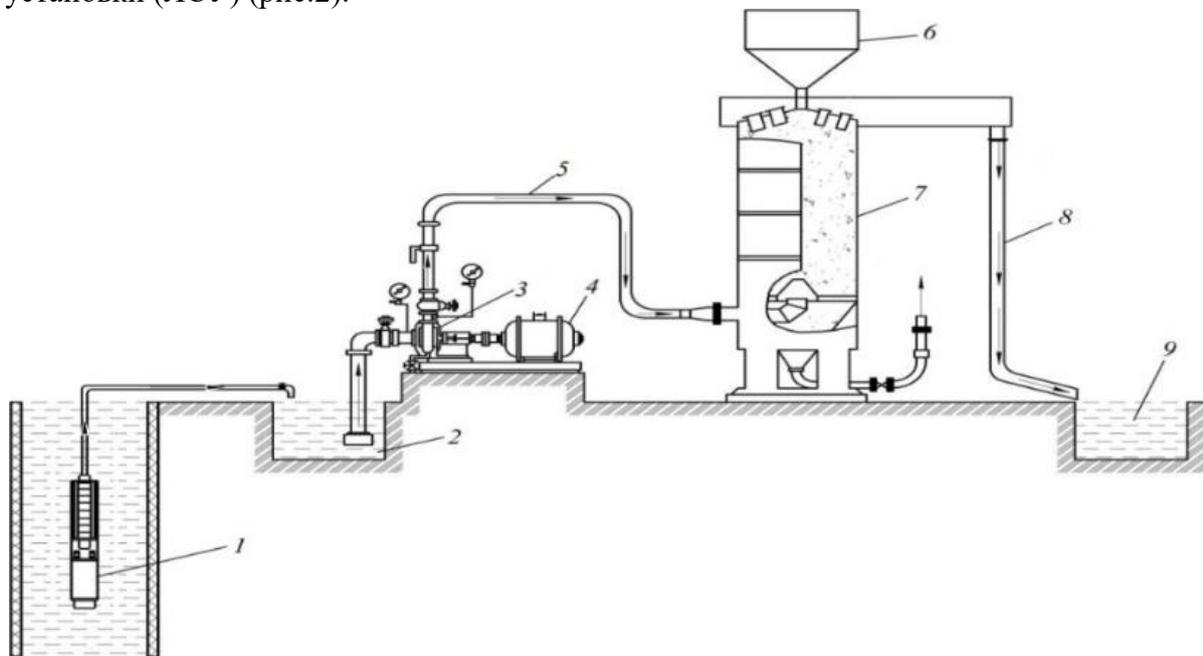
За исключением малых рек, определенным потенциалом производства гидроэнергии обладают водохранилища, а также магистральные каналы. Технический потенциал малых гидроэлектростанций демонстрирует потенциальную возможность внедрения дополнительных 14 малых ГЭС мощностью 10–20 МВт каждая и суммарной мощностью 87 МВт при водохранилищах.

Кроме развития большой и малой гидроэнергетики в Узбекистане имеется потенциал для развития микроГЭС (станции мощностью до 2 кВт).

МикроГЭС мощностью 5 кВт позволит обеспечить электроэнергией отдельные мелкие хозяйства, удаленные от поселков и централизованных электрических сетей, а установка мощностью более 10 кВт даст возможность организовать предприятие по переработке получаемой продукции.

Подтверждена техническая возможность освоения гидроресурсов еще 27 рек, на которых можно установить 1101 микроГЭС суммарной мощностью 304 МВт и суммарной выработкой 1764 ГВт-ч.

На горных предприятиях Узбекистана, а именно на Навоийском горно-металлургическом комбинате имеется огромный потенциал применения микро и малых ГЭС, в частности, на геотехнологических рудниках, где имеются локально-сорбционные установки (ЛСУ) (рис.2).



**Рисунок 2.** Принципиальная технологическая схема локально сорбционной установки. 1- откачной трубопровод; 2- технологическая карта (богатый раствор); 3- насос; 4- электродвигатель; 5- трубопровод; 6- бункер; 7- ёмкость; 8- трубопровод; 9- технологическая карта (бедный раствор).

Из рисунка 2 видно на ЛСУ, жидкость поступает от ёмкости 7 в технологическую карту 9, по трубе 8, где имеется самотек жидкости, которую возможно преобразовать в электроэнергию посредством генераторов.

## Выводы

Меры по энергосбережению альтернативных источников энергии необходимы не только в связи с их дефицитом в качестве сырья для обеспечения энергетических потребностей страны, но и для независимой ресурсной обеспеченности химической и нефтегазохимической промышленности на длительную перспективу.

Выполненный анализ показали, что в Узбекистане имеется огромный потенциал альтернативных источников энергии, но только некоторые из них могут быть вероятными, реальными и существенными источниками в среднесрочной перспективе. К ним относятся солнечная энергия, энергия малых рек, водохранилищ и каналов, а также биогаз, производимый из органических и неорганических отходов.

Следует отметить, что на горных предприятиях имеется огромный потенциал применения микро и малых ГЭС. Дальнейшие исследования могут быть связаны с разработкой эффективных систем энергоснабжения горных работ с использованием возобновляемых источников энергии.

### **Библиография**

1. Атауллаев Н.О., Зохидов О.У., Идиева А.А. Разработка вертикальных ветрогенераторов в условиях Узбекистана. *Узбекский научно-технический и производственный журнал «Композиционные материалы»* Ташкент, 2019г. - №4, - С. 106-108.
2. Зарипов Ш.У., Зохидов О.У. Анализ потенциала и эффективных источников возобновляемой энергии Узбекистана. *Научно-технический и производственный журнал «Горный вестник Узбекистана»*, Наваи, 2020г. - №4, - С. 103-104.
3. Меркулов М.В., Ивченко И. А., Пападичев Д. А., Косьянов В. А. Методика экономической оценки ветродизельных систем энергоснабжения буровых и горно-разведочных работ. *Известия ВУЗов «Геология и разведка»* № 3, 2012.
4. Телегин В.В. Повышение эффективности функционирования систем электроснабжения предприятий ограниченной мощности с использованием альтернативных источников энергии. Автореф. дисс. на соиск. уч. степ. к.т.н. Липецк, 2014г.

**Расчет изменения параметров физико-механических свойств грунтов в процессе  
щитовой проходки тоннеля на примере объекта метростроя  
Иляхин С.В. (МГРИ, isv11@mail.ru)**

**Аннотация**

Излагается аналитический метод расчета изменения параметров грунтовой массы (влажности, плотности, отношение объемов грунтовой массы к объему нетронутого грунта в забое, отношения весов грунтовой массы к массе грунта в забое) при перемещении разрушенного ротором щита грунта от забоя к вагонетке, выдаваемой в последствии нагора. Это необходимо при проектировании проходки тоннеля, для определения объема и веса грунтовой массы, извлекаемой из забоя тоннеля. Зная соотношение объемов и весов грунтовой массы к грунту в забое, можно планировать необходимое количество транспортных средств для вывоза грунтовой массы со строительной площадки, необходимое количество талонов для вывоза грунтовой массы на полигон захоронения из города.

**Ключевые слова**

Грунт, грунтовая масса, тоннель, проходка, щит, влажность, объем грунта, плотность

**Источники финансирования**

Х/д №228/2020 от 27.11. 2020 г. между ГАУ «НИАЦ» и МГРИ

**Теория**

На примере лабораторных и полигонных исследований, проведенных на объекте метростроя (Дмитровское шоссе), рассчитаем изменение влажности, плотности и объема грунтовой массы при перемещении последней от забоя к вагонетке с выдачей нагора.

*Исходные данные на объекте (МГРИ):*

Плотность грунта в забое – 2,08 г/см<sup>3</sup>.

Плотность сухого грунта в забое – 1,72 г/см<sup>3</sup>.

Плотность грунта на конвейере – 1,9 г/см<sup>3</sup>.

Плотность грунта в вагонетке – 1,87 г/см<sup>3</sup>.

Плотность сухого грунта в вагонетке – 1,46 г/см<sup>3</sup>.

Плотность грунта в накопителе – 1,86 г/см<sup>3</sup>.

Плотность воды принимаем 1 г/см<sup>3</sup>.

Влажность грунта в забое составила – 18,89 %.

Влажность грунта на конвейере составила – 27,1 %.

Влажность грунта в вагонетке – 30,97%.

Влажность грунта в накопителе – 31,5 %.

Влагоемкость грунта в забое – 21%.

Влагоемкость грунта в вагонетке – 31%.

Пористость для грунта в забое составила 37%.

Пористость грунта в вагонетке составила 47%.

К-т водонасыщения грунта в забое - 0,98.

К-т водонасыщения грунта в вагонетке - 0,975.

Для определения плотности и влажности грунта и грунтовой массы отбирались пробы начиная от забоя, затем на конвейере щитового комплекса, затем в вагонетке выдаваемой нагору и в сборнике накопителе, размещенном на поверхности. На рис.1. и 2 представлены графики изменения средней плотности и влажности грунтовой массы по мере ее перемещения от от забоя к накопителю, размещенному на поверхности.

Анализ рисунков позволяет с достаточной достоверностью утверждать, что изменение плотности грунтовой массы (при перемещении от забоя к накопителю) зависит от количества воды, подаваемой в забой. Причем, максимальный прирост влажности происходит именно в точках забой-конвейер (увеличение на 44%), поэтому именно в этих двух точках результат определения плотности, влажности, пористости и объема подачи воды в забой, в дальнейшем определяют остальные показатели грунтовой массы (вес, объем).

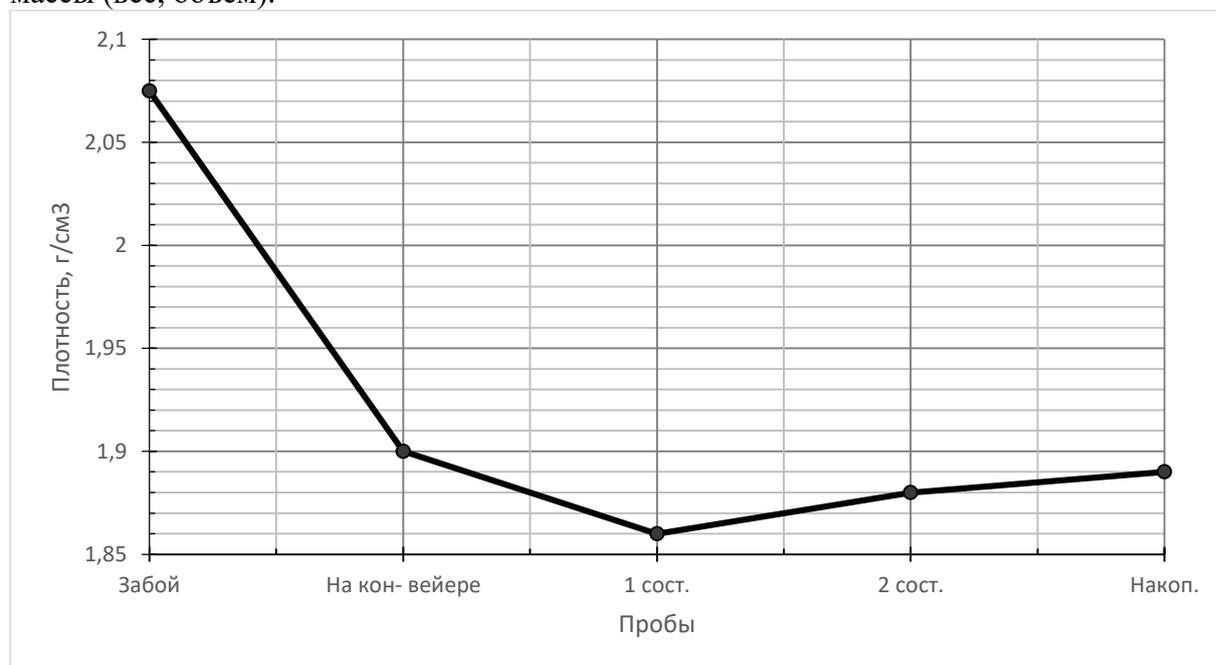
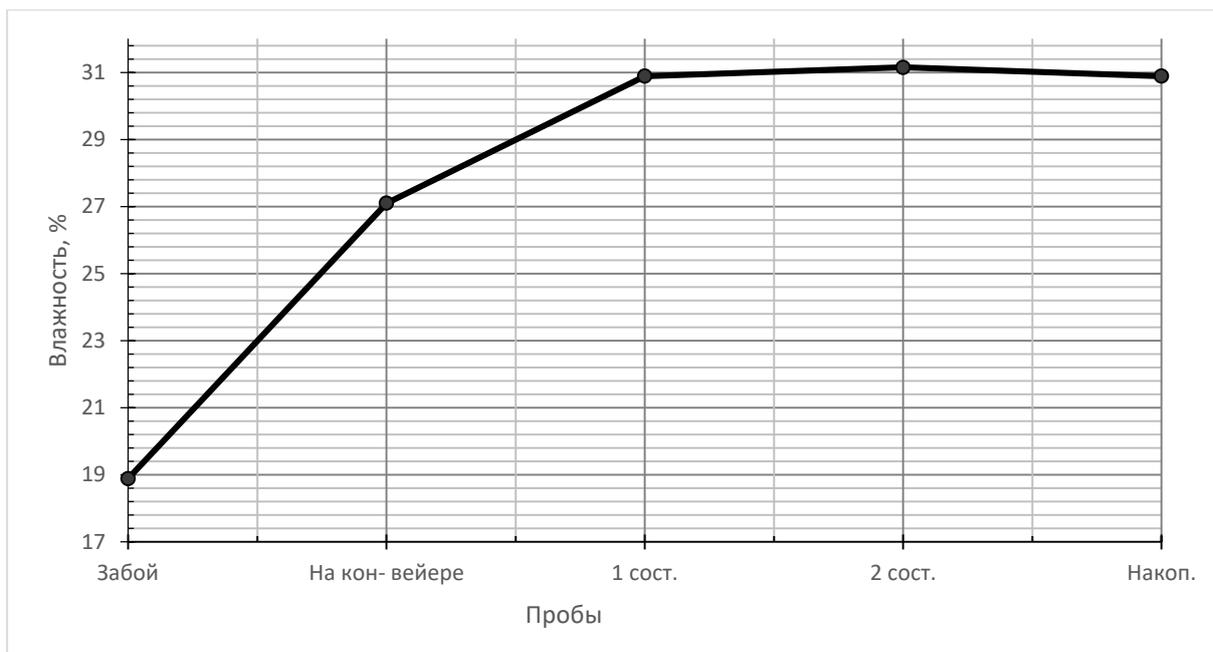


Рисунок 1. Средняя плотность в пробах грунтовой массы (Дмитровская).



**Рисунок 2.** Средняя влажность в пробах грунтовой массы (Дмитровская).

При перемещении грунтовой массы от конвейера в вагонетку влажность дополнительно увеличилась почти на 13% (с 27% до 30%), за счет воды, подаваемой на очистку обратной стороны конвейерной ленты от налипшей грунтовой массы.

В забой подается вода для разбавления разрушенной грунтовой массы и обеспечения эффективной работы ротора в объеме от 180 до 250 л/м<sup>3</sup>.

Разность во влажности грунта  $W_{зк}$  между забоем  $W_з$  и конвейером  $W_к$  составила:

$$W_{зк} = (W_к - W_з) = 27,1 - 18,89 = 8,21 \% \quad (1)$$

Разность во влажности грунта между конвейером и вагонеткой  $W_{вк}$  составила:

$$W_{вк} = (W_в - W_к) = 30,97 - 27,1 = 3,87 \% \quad (2)$$

А разность во влажности грунта между накопителем и вагонеткой  $W_{нв}$  составила:

$$W_{нв} = (W_н - W_в) = 31,5 - 30,97 = 0,53 \% \quad (3)$$

Т.о. плотность грунта на конвейере  $\rho_к$  уменьшилась по отношению к плотности грунта в забое  $\rho_з$  на:

$$\rho_{кз} = \rho_з - \rho_к = 2,075 - 1,9 = 0,175 \text{ г/см}^3 \quad (4)$$

Плотность грунта в вагонетке  $\rho_в$  по отношению к плотности грунта на конвейере  $\rho_к$  уменьшилась на:

$$\rho_{кв} = \rho_{к} - \rho_{в} = 1,9 - 1,87 = 0,03 \text{ г/см}^3 \quad (5)$$

А плотность грунта в накопителе  $\rho_{н}$  по отношению к плотности грунта в вагонетке  $\rho_{в}$  уменьшилась на:

$$\rho_{вн} = \rho_{в} - \rho_{н} = 1,87 - 1,86 = 0,01 \text{ г/см}^3 \quad (6)$$

Т.о. уменьшение плотности грунта на конвейере, по отношению к плотности грунта в забое, согласно уравнению (4) на  $0,175 \text{ г/см}^3$  произошло за счет разрыхления горной массы ротором щита в забое и разбавления разрушенного грунта в забое за счет подачи воды для улучшения работы ротора. Влажность грунта на конвейере увеличилась по отношению к влажности грунта в забое, согласно уравнению (1), на  $8,21 \%$ .

Дополнительно, при перемещении грунта с конвейера в вагонетку за счет подачи воды для очистки обратной стороны ленты конвейера от налипшего грунта, увеличилась влажность грунта в вагонетке. Согласно уравнению (2) это увеличение составило  $3,87\%$ .

В накопителе увеличение влажности грунта по отношению к влажности вагонетки объясняется тем, что в накопитель поступает вода и обводненный грунт при зачистке почвы тоннеля, а также от климатических осадков. Согласно уравнению (3) влажность грунта в накопителе увеличилась по отношению к влажности грунта в вагонетке еще на  $0,82\%$ .

На основе анализа приведенных данных можно утверждать, что уменьшение плотности грунта в забое с  $2,075 \text{ г/см}^3$  до  $1,86 \text{ г/см}^3$  произошло за счет увеличения влажности грунта от забоя к накопителю с  $18,98 \%$  до  $31,5\%$  (согласно уравнениям 1-3). Т.е. влажность перед вывозом грунта с объекта  $W_{нз}$  по отношению к влажности грунта в забое  $W_{з}$  увеличилась на:

$$W_{нз} = (W_{н} - W_{з}) = 31,5 - 18,89 = 12,61 \text{ \%} \quad (7)$$

Т.к. при перемещении грунта от забоя к вагонетке масса сухого грунта не уменьшилась, а влажность выросла на:

$$W_{в} - W_{з} = 30,97 - 18,89 = 12,08 \text{ \%} \quad (8)$$

Но увеличение количества воды на  $12,08\%$  в сухом грунте означает, что масса воды  $M_{в}$  можно определить из выражения:

$$M_{в} = (W_{в} - W_{з}) * \rho_{сух} \text{ з/}100 = 12,08 * 1,72 / 100 = 0,207 \text{ г} \quad (9)$$

Применительно к воде с плотностью  $1 \text{ г/см}^3$  такое увеличение массы составит по объему  $0,207 \text{ мл}$ . Т.е. объем грунта от забоя к вагонетке  $V_{зв}$  увеличился на вышеуказанную величину, а в процентах это будет  $20,7 \%$ .

Тогда отношение объема грунта в вагонетке к объему грунта в забое составит  $1,207$ . Или в миллилитрах на  $1 \text{ см}^3$  приращение объема составит  $V_{прпр} = 0,207 \text{ мл}$

При этом нужно учесть, что при воздействии ротора щита на забой из-за коэффициента разрыхления объем грунта без учета влажности увеличится за счет роста пористости с 37 % до 47%, всего на 10 %, а излишней влаги (от подачи в забой воды для улучшения работы ротора из расчета 180-250 л воды на кольцо) будет почти 20,7 %. Учитывая степень водонасыщения грунта в вагонетке равной 0,975 – не вся влага окажется в порах грунта вагонетки. С учетом коэффициента водонасыщения равного 0,975 для грунта в вагонетке, только 9,75%. Тогда оставшаяся влага в объеме  $W_0$  составит  $(20,7 - 9,75) = 10,95\%$  или 11%. Вес этой влаги  $P_{вл}$  (11%) от сухого грунта плотностью 1,46 г/см<sup>3</sup> составит:

$$P_{вл} = 11 * 1,46 / 100 = 0,16 \text{ г или для} \\ \text{воды } 0,16 \text{ мл- } V_{доп} \quad (10)$$

С учетом увеличения объема грунта по отношению к плотности грунта к забою на 20,7 % и дополнительно за счет разрыхления грунта и уменьшения плотности сухого грунта с 1,72 до 1,46 г/см<sup>3</sup>, можно утверждать, что общий объем грунта увеличится на:

$$V_{общ} = V_{прир} + V_{доп} = 0,207 \text{ мл} \\ + 0,16 \text{ мл} = 0,367 \text{ мл} \quad (11)$$

Таким образом, после перемещения грунта из забоя в вагонетку отношение объема грунта в вагонетке на 1 см<sup>3</sup> составит:

$$V_{гр.з} / V_{г.м.в.} = 1,36 \quad (12)$$

Замеряя объемы грунтовой массы в каждой вывозимой из забоя вагонетке  $V_{г.м.в.}$  можно определить суммарный объем грунтовой массы, вывезенного из забоя тоннеля при проходке подземной выработки на ширину кольца обделки.

Согласно данным, полученным НИИЦ при обследовании объекта на Дмитровском шоссе, замеряя отношение объема грунта в вагонетках к объему грунта в забое  $V_{г.м.к.} / V_{г.м.в.} = 1,39$ .

Расхождение в цифре определенной в результате лабораторных исследований МГРИ - 1,367 и полигонных замерах на реальных вагонетках на объекте Дмитровское шоссе НИИЦ - 1,39 объясняется из-за возможных ошибок при определении физико-механических свойств в лабораторных условиях (не менее 5%) и в полигонных такая разница допустима.

Т.о. на основании анализа результатов лабораторных и полигонных исследований установлено, что для грунтов Дмитровского объекта при щитовой проходке тоннеля увеличение объема грунта от забоя к вагонетке составит 1,37-1,39 от объема нетронутого грунта в забое.

Таким же образом может быть произведен расчет и для других типов грунта при наличии данных, указанных в начале подраздела.

## **Выводы**

1. Влажность грунтовой массы, выдаваемой нагора, зависит от влажности грунта в забое, а также количества воды и пенообразователя, подаваемых в забой для эффективной работы ротора.

2. Плотность грунтовой массы, выдаваемой нагора, зависит от плотности грунта в забое, коэффициента разрыхления грунта при щитовом способе разрушения забоя и пористости грунтовой массы.

3. На основании анализа результатов лабораторных и полигонных исследований установлено, что для грунтов Дмитровского объекта (твердые глины) при щитовой проходке тоннеля увеличение объема грунта от забоя к вагонетке составит 1,37-1,39 от объема нетронутого грунта в забое.

## **Библиография**

1. ГОСТ 30416-2012 «Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения».
2. ГОСТ 5180-2015 «Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик».
3. Дмитриев В.В., Ярг Л.А. Методы и качество лабораторного изучения грунтов: учебное пособие – М.: КДУ, 2008, с. 224.
4. Пашкин Е.М, Каган А.А, Кривоногова Н.Ф. Терминологический словарь-справочник по инженерной геологии.-М.: КДУ, 2017, с. 349.

**Обоснование для расчета объема и веса грунтовой массы, извлеченной из забоя при щитовой проходке тоннелей метро  
Иляхин С.В. (МГРИ, isv11@mail.ru)**

**Аннотация**

Излагается метод расчета объема и веса грунтовой массы, извлеченной из забоя при щитовой проходке тоннелей метро. Это необходимо при проектировании проходки тоннеля, для определения объема и веса грунтовой массы, извлекаемой из забоя тоннеля. Зная соотношение объемов и весов грунтовой массы к грунту в забое, можно планировать необходимое количество транспортных средств для вывоза грунтовой массы со строительной площадки, необходимое количество талонов для вывоза грунтовой массы на полигон захоронения из города. Предложена формула для расчета объема горной массы, выдаваемой нагору, позволяет с ошибкой 5-6% для суглинков, для глины 25%, для песка 12-22%, для известняка 3-4% определить соотношение объемов горной массы к объему, предполагаемому к разработке нетронутого грунта в пределах заходки. Формула может использоваться на практике при проектировании с достаточной для грунтов сходимостью в 5-15%.

**Ключевые слова**

Расчет, грунт, грунтовая масса, тоннель, проходка, щит, влажность, объем, вес, плотность.

**Источники финансирования**

Х/д №228/2020 от 27.11. 2020 г. между ГАУ «НИАЦ» и МГРИ

**Теория**

Знание вышеозначенных отношений необходимо на стадии проектирования проходки, чтобы планировать на объекте вывоза грунтовой массы с обоснованием необходимого количества автотранспортных средств. В г. Москва вывоз грунта на полигоны контролируется специальной службой с выдачей талонов на перевозку. Иногда отмечаются завышенные объемы грунтовой массы для транспортировки на полигоны.

Зная увеличение объема грунта от забоя к вагонетке, объем усадки за цикл (объем грунта в пределах кольца) и плотность грунта в вагонетке, можно определить соотношение весов грунта в забое и в вагонетке. Анализ данных источника [1] позволяет утверждать, что коэффициент разрыхления грунтов изменяется от 1,08 до 1,7.

Кроме этого, следует обратить внимание на показатель остаточного разрыхления грунта. Тогда суммарный коэффициент разрыхления увеличится на вышеприведенную величину. Т.е. попадая в вагонетку грунт увеличивает дополнительно объем по отношению к массиву на 1-12%, а значит и возможно увеличение пористости грунта и влагоемкости.

Вес грунтовой массы  $P$  гр.м. от забоя. до накопителя ( $P_{гр.н}$ ) увеличивается за счет подачи пенообразователя  $P_{по}$  в объеме от 0,61 до 3,5 литра на 1м<sup>3</sup> грунта в забое,

разбавления пенообразователя водой  $P_{H_2O}$  из расчета – 20-325 л/м<sup>3</sup> (в пересчете на объем грунта в пределах кольца обделки или заходки, табл.2 ), а также из-за дополнительного увлажнения грунта в вагонетке при попадании воды при зачистке холостой стороны ленты конвейера – 6-12 л/мин (практические данные МГРИ) с учетом загрузки вагонетки в течении 7-10 минут.

В процессе наблюдений на объектах щитовой проходки фиксировали расход воды и пенообразователя, подаваемых в забой щита для повышения эффективности разрушения грунтов.

Т.е. можно записать, что вес 1 м<sup>3</sup> грунтовой массы  $P_{гр.м.}$  перед загрузкой в транспортное средство составит:

$$P_{гр.м.} = P_{гр.к.} + P_{по} + P_{H_2O}, \quad (1)$$

кг/м<sup>3</sup>

На большинстве обследованных нами объектов грунтовая масса из вагонеток вначале перемещается в накопитель, а затем экскаватором в транспортное средство. Т.к. накопители размещены на поверхности под открытым небом климатические осадки в виде дождя и снега попадают в накопитель.

Тогда вес 1 м<sup>3</sup> грунтовой массы  $P_{гр.м.}$  перед загрузкой в транспортное средство с учетом климатических осадков будет равен:

$$P_{гр.м.} = P_{гр.к.} + P_{по} + P_{H_2O} + P_{кл}, \quad (2)$$

кг/м<sup>3</sup>

Замеряя вес грунтовой массы в каждой вывозимой из забоя вагонетке  $P_{гр.м.}$  можно определить суммарный вес грунта, вывезенного из забоя тоннеля при проходке подземной выработки на ширину кольца обделки.

Зная площадь накопителя (обычно 8x10x3,5 м) легко определить количество осадков за месяц или сутки. Объем грунта, накапливаемый в сутки в накопителе, из учета установки в сутки от 6 до 12 колец в тоннеле, достигает нескольких сотен метров кубических.

Следует отметить, что помимо осадков, часть влаги будет испаряться за счет температурного воздействия солнечной радиации с поверхности накопителя и размер климатических осадков снизится дополнительно. В данном исследовании этот показатель мал, не учитывался и им можно пренебречь в расчетах.

Помимо этого, в накопителе наблюдается увеличенный объем грунтовой массы из-за того, что в накопитель выгружают собранную в тоннеле вблизи щита воду с грунтом, подобранные с почвы выработки. В смену это величина, по данным наблюдения на одном из объектов метростроя может достигать 400-500 кг, а в сутки до 1 тонны (при установке двух колец в смену). Кроме этого, при проходке на объекте параллельно других подземных выработок (сбойки) объем извлеченной грунтовой массы может увеличиться в накопителе на определенную величину. Размер ее определяется в каждом конкретном случае и может быть обозначен, как непредвиденные проектом дополнительные объемы  $V_{доп}$  и вес  $P_{доп}$ . Тогда формула (3) может быть записана в следующем виде:

$$P_{гр.м.} = P_{гр.к.} + P_{по} + P_{H_2O} + P_{доп}, \text{ кг/м}^3 \quad (3)$$

Дополнительный вес воды (или объем) связан также и с дополнительным поступлением воды из массива в забой после его раскрытия. Через коэффициент фильтрации песков или супеси можно рассчитать объемы поступления воды в забой, особенно во время простоя. Знание дополнительных объемов и веса извлекаемого грунта в процессе проходки тоннеля будет являться обоснованием на получение дополнительных талонов для вывоза грунтовой массы с объекта на полигон захоронения.

На стадии проектных работ, с учетом данных, отраженных при проведении изыскательских работ по будущей трассе тоннеля в геологическом проекте, определяются два основных параметра: проектная плотность грунта в массиве или в забое щита ( $\rho_{пр}$ ) и проектная влажность грунта в забое щита ( $W_{пр}$ ).

Объем грунта в пределах заходки  $V_{зах}$  щита определяется по формуле:

$$V_{зах} = (\Pi * d_{щ}^2 / 4) L_{зах}, \text{ м}^3 \quad (4)$$

Диаметр ротора щита для большинства применяемых в г. Москва щитов составляет 6,2 и 10,3 м. С учетом выступающих, установленных на план шайбе ротора, резцов, вышеуказанный размер может увеличиться на 8-10 см и составит 6,28 и 10,3 м. В процессе разработки периферийные резцы стачиваются и диаметр тоннеля в черне снижается постепенно на 8-10 см.

Вес грунта в забое в пределах заходки или кольца определяется по известным формулам с учетом проектной плотности грунтов, отраженных в проекте разведочных работ трассы тоннеля и проекте на разработку тоннеля.

В процессе работы на объектах тоннелестроения г. Москва нами было отмечено, что очень часто данные проектных величин плотности ( $\rho_{пр}$ ) и влажности ( $W_{пр}$ ) не соответствуют фактическим параметрам при проходке на определенных этапах проходки. Это связано с тем, разведочные скважины, из которых отбирается грунт для исследований по определению физико-механических свойств грунтов, бурятся на расстоянии от 50 до 200 м. В промежутке между скважинами грунты перемежаются другими формациями. Например, в процессе отработки грунта для установки очередного кольца обделки, по геологическим данным должна быть глина, а фактически песок или супесь. Данное утверждение подтверждается заключениями лабораторий по определению лабораторных показателей физико-механических свойств грунтов и определением типа грунтов, которые не совпадают с данными по геологии.

Такое несовпадение может привести к искажению расчетных показателей (на стадии проектирования), ранее указанных величин ( $V_{ваг}/V_{к}$  и  $R_{ваг}/R_{к}$ ), определяющих объемы и вес вывозимой с объекта горной массы.

Замеряя вес грунтовой массы в каждой вывозимой из забоя вагонетке  $P$  гр.м. можно определить суммарный вес грунта, вывезенного из забоя тоннеля грунта при проходке на ширину кольца обделки.

Т.о. определение на стадии проектирования объема грунта, предназначенного для извлечения из забоя, осуществляется с учетом диаметра план шайбы щита, ширины кольца обделки (1,0 -1,4м).

Вес грунта, предназначенного для извлечения из забоя щита определяется умножением объема грунта в забое в пределах ширины кольца и проектной плотности грунта в забое (по данным проектно-изыскательских работ).

Объем горной массы, выдаваемой нагора, определяется из учета знания коэффициента разрыхления грунта, характерного для определенного типа разрабатываемого в тоннеле грунта. А также с учетом объема пенообразователя и воды, подаваемых в забой для обеспечения эффективной работы ротора. Либо объем грунта, перемешанного с водой, замеряется в каждой вагонетке, а затем суммируется с учетом задействованных вагонеток для отгрузки грунтовой массы из забоя при подвижке щита на ширину будущего кольца обделки.

Вес грунтовой массы, выдаваемой из забоя, определяется взвешиванием (с помощью специального оборудования на подъемном кране) каждой вагонетки (за вычетом веса вагонетки), затем суммируется с учетом задействованных вагонеток.

В том случае, если наблюдается расхождение в типе грунта, фактически разрабатываемого в забое тоннеля с типом грунта, обозначенного в проектной геологической документации, необходимо определять вес грунтовой массы с помощью кранового оборудования. Затем определить лабораторным методом объемный вес грунта в вагонетках (путем отбора проб) и через показатель суммарного веса грунта в вагонетках определить объем грунтовой массы.

Определение объемной плотности грунтовой массы в вагонетке можно определять непосредственно при загрузке в вагонетки. Оператор контроля загрузки может отобрать крупноразмерные пробы (3-5 л) из каждой вагонетки, взвесить и зная объем пробы, вычислить объемную плотность грунтовой массы в вагонетке.

Причем такую процедуру можно узаконить, как например отбор пробы бетона завозимого на объекты строительства. Из каждого привезенного объема бетоновозом отбирается 3 пробы объемом 1 дм<sup>3</sup>, а затем в полигонной лаборатории определяются характеристики бетона.

Либо, для определения объема извлекаемой горной массы, необходимо взвешивать массу грунта (характерного типа для определенного отрезка тоннеля) в вагонетке, выдаваемой нагора, с предварительным определением объема внутреннего пространства вагонетки. Зная объем вагонетки и вес легко определить плотность нового типа грунта. Но такая работа требует дополнительных затрат и неприемлема на стадии проектных работ.

Наиболее приемлемой формой расчета можно считать увеличение объема горной массы по отношению к объему нетронутого грунта в массиве с учетом к-та разрыхления (см. табл. 2).

Проверка проведенных расчетов по определению объема горной массы, извлекаемой из забоя (в вагонетках)  $V_{гм}$ , с учетом коэффициента разрыхления  $K_{разр}$  позволяет сделать следующее утверждение. При проектировании выхода горной массы

из тоннеля достаточно рекомендуемые значения коэффициентов разрыхления для конкретных грунтов умножить на объем нетронутого грунта в пределах кольца  $V_k$  или заходки. Причем, рекомендуемые значения коэффициента разрыхления необходимо брать по максимальной величине для конкретных грунтов и добавлять объем воды, подаваемой в забой  $V_{вз}$ .

Тогда объем грунтовой массы определится из выражения:

$$V_{гм} = (K_{разр} * V_k) + V_{вз}, м^3 \quad (5)$$

Если проанализировать данные, отражающие фактическое отношение объемов грунтовой массы к объему нетронутого грунта в «кольце» и сравнить их с коэффициентом разрыхления, характерного для различных типов грунтов, можно утверждать следующее.

Применение рекомендуемой формулы (5) для расчета объема горной массы выдаваемой нагора, позволяет с ошибкой 5-6% для суглинков, для глины 25%, для песка 12-22%, для известняка 3-4% определить соотношение объемов горной массы к объему, предполагаемому к разработке нетронутого грунта в пределах заходки.

## **Выводы**

1. Относительно большое расхождение (25%) вычисленных объемов горной массы для глины, с фактическими замерами, объясняется тем, что не известна ошибка в определении объемов горной массы по замерам в вагонетках. Если допустить эту ошибку в 5-10%, то предлагаемая формула (5) может использоваться на практике при проектировании с достаточной для грунтов сходимостью в 5-15%.
2. При введении корректировочного коэффициента к предлагаемой формуле с учетом ошибки для конкретных грунтов, можно рекомендовать для использования на объектах метростроя. Т.е. без привлечения сторонних организаций на объектах по проходке тоннелей метро можно составить корректировочный расчет.

## **Библиография**

1. СНИП – 1986. Коэффициент разрыхления грунтов
2. Козлов А. Ю. Статистический анализ данных в MS Excel. / Козлов А. Ю., Шишов В. Ф., Мхитарян В. С. М.:ИНФРА-М, 2012.
3. Мазеин С.В. Оперативный контроль объема и веса выемки грунта механизированной щитовой проходки тоннелей метрополитена // Горное оборудование и электромеханика. –2009. –№ 6. –С. 2–7
4. Мазеин С.В. Использование оперативного технологического контроля в прогнозе геотехнических процессов щитовой проходки транспортных тоннелей // Тр. межд. науч.-техн. конф. «Транспортные тоннели для будущих скоростных магистралей». – М., 2010. –С. 61–65.

***Анализ мест образования пыли при производстве массовых взрывов на открытых горных работах***

***Иляхин С.В.\* (МГРИ, isv11@mail.ru), Янсаетова Г.Р (МГРИ, gulsiya.yansaitova@mail.ru)***

**Аннотация**

В работе представлены результаты анализа научных литературных источников (публикаций, диссертаций, отчетов НИР) по проблеме пылеобразования при производстве массовых взрывов на открытых горных работах начиная с 50-х годов прошлого века и по настоящее время. Изложены места образования пыли в процессе ведения горных работ. Проведённые исследования представляют практический интерес и являются основой для разработки методики по пыле- и газоподавлению при производстве массовых взрывов.

**Ключевые слова**

Массовый взрыв, открытые горные работы, пыль, пылеподавление, место образования пыли.

**Источники финансирования**

Х/Д № ЛГ-191777 от 28.06.2019 г. между Лебединским ГОКом и МГРИ

**Теория**

Актуальность проведения исследований по пылеподавлению в процессе ведения буровзрывных работ является ответом на запрос общества по оздоровлению экологии в местах ведения открытых горных работ с использованием энергии взрыва.

Проблема пылеподавления при взрыве возникла с момента, когда глубина разрабатываемых карьеров начала превышать 200 м. Это связано с тем, что на больших глубинах пыль не удаляется естественным образом под действием ветровых потоков.

Глубина многих карьеров на настоящее время составляет 250-450 метров и постоянно увеличивается. Сокращение пыли при производстве массовых взрывах осуществляется за счет организационных, технологических, инженерно-технических и санитарно-технических мероприятий. Санитарная зона карьера максимально приближена к городским постройкам.

Многочисленными исследованиями установлено, что наиболее неблагоприятными по признаку выхода пыли являются буровзрывные работы, при ведении которых выделяется в атмосферу 30-40% от общего объема пыли. При открытой добыче железных руд, дробление скальных пород при помощи взрывов сопровождается образованием пыли в количестве 45-110 граммов на тонну руды, а её дальнейшая переработка в карьере связана с дополнительным выделением пыли в количествах 50-150 г/т.

Цель настоящей работы - проанализировать источники образования пыли при взрыве и дать рекомендации по направлению проведения исследований применительно к пылеподавлению в условиях открытых горных работ.

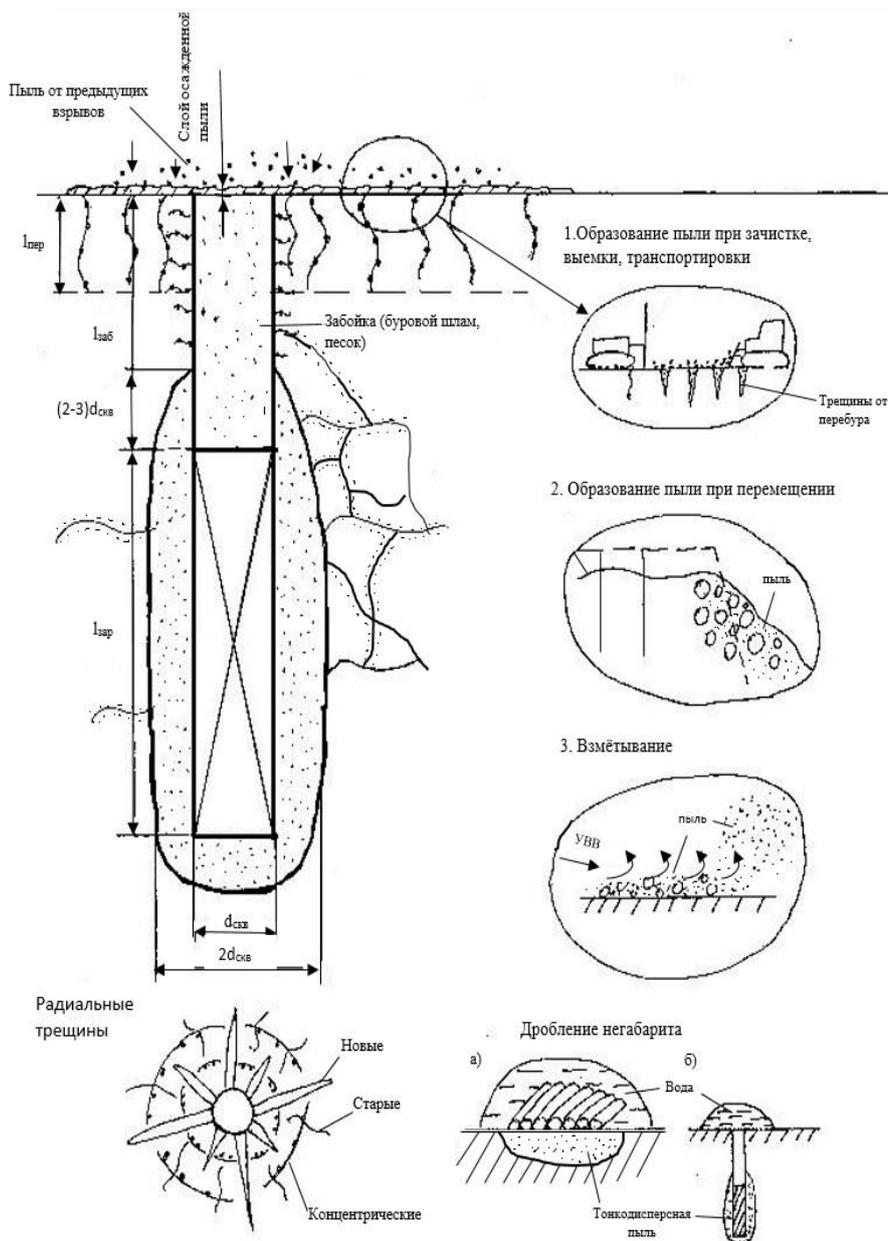
В данной работе рассматривается технология ведения БВР на открытой поверхности при использовании скважин рыхления, заполненных на 2/3 длины заряда взрывчатым веществом и на 1/3 длины забойкой с выполнением перебура длиной 2 м на уступах высотой 15-24 м. В некоторых случаях, при зарезке съездов на нижележащий уступ, длина скважин достигает 24 м. Диаметр скважин по руде принимается равным 0,256м.

При осуществлении взрывных работ на рыхление г.п. можно выделить следующие места образования пыли (рис.1):

- пыль на поверхности взрываемого блока и на боковой поверхности уступа;
- пыль в результате волнового динамического и поршневого действия газов;
- пыль, формирующая пылегазовое облако при взрыве.

*1. На поверхности подготавливаемого блока к взрыву оседает пыль:*

- фоновая пыль, связанная с эксплуатацией карьера и выполнения всех технологических операций;
- выемка, погрузка и транспортировка горной массы, перемещение дополнительного транспорта;
- пыль с отвалов обогащения;
- пыль, осевшая из ПГО от предыдущего взрыва;
- пыль, образующаяся при бурении взрывных скважин рыхления на подготавливаемом к взрыву блоке и оседающая на его поверхности;
- буровой шлам, образующийся при бурении скважин и остающийся около устья скважины;
- пыль, накопившаяся в трещинах горизонтальной и боковой поверхностей уступа, в результате выемки и погрузки руды, а также последующей зачистки поверхности блока для размещения и перемещения буровых станков.



**Рисунок 1.** Схема мест образования пыли при производстве массовых взрывов на карьерах.

**II. Пыль, которая образуется при взрыве скважин рыхления на блоке:**

- от инертной забойки в виде хвостов обогащения, песка (от 2-3 диаметров скважины до 5);

- в результате воздействия ударной волны от продуктов детонации на стенки зарядной камеры по длине заряда на расстояние от 1 до 1,5 радиусов скважины, плюс торцевое воздействие на 2-3 диаметра скважин и дополнительно по длине 3-5 диаметров скважины непосредственно над зарядом в месте нахождения забойки, т.е. так называемая зона ближнего действия взрыва (однако, необходимо принять во внимание, что в ближней зоне действия взрыва образуется пыль среднедисперсная, мелкодисперсная и тонкодисперсная и данных в литературе по разделению пыли в ближней зоне действия взрыва по фракциям нет.);

- при формировании радиальных, круговых (концентрических) и откольных трещин и раскрытия существовавших трещин до взрыва в массиве при воздействии напряжения, сформированного взрывом заряда в пределах зоны регулируемого дробления (обычно 30-50 диаметров скважины);

- пыль, образованная в результате смещения разрушенного массива на

отдельности при формировании навала горной массы за счет фугасного действия взрыва в сторону свободной поверхности и трения и соударения кусков горной породы в процессе перемещения;

- пыль, образованная при осуществлении вторичного дробления негабаритов взрывным способом.

*III. Пылегазовое облако после взрыва формируется за счет пыли, образованной:*

- в результате трения инертной забойки о стенки зарядной камеры и соударения частиц забойки при вылете последней из устья скважины рыхления;

- в ближней зоне действия взрыва (3-5 радиусов скважины) и выноса ее на поверхность уступа;

- от действия прорывающихся газов от заряда ВВ через новые трещины и сформированные ранее, поднимая осевшую на поверхности уступа пыль и попавшую в трещины при выемке горной массы, зачистке уступа;

- от взметывания осевшей пыли за пределами границы взрываемого блока на рабочей площадке уступа, а также с боковой поверхности уступа от воздействия газов взрыва последнего ряда скважин.

Анализ мест образования пыли при взрыве позволяет сделать заключение о том, что процесс обеспыливания, при проведении буровзрывных работ, является комплексным. Это позволит найти достаточно приемлемые решения по уменьшению образования пыли при взрыве с учетом ее уменьшения по предшествующим технологическим процессам. Как следствие – возможно снижение концентрации пыли в карьере при взрыве минимум на 20-30% по сравнению с существующим фоном.

## **Выводы**

1. Необходимо учитывать пыль, накопленную на подготовленном к взрыву блоке, сформированную другими технологическими процессами и необходимо разделить пыль, образованную взрывом от пыли, которая образовалась в результате выполнения других технологических операций в карьере
2. Для разработки мероприятий по пылеподавлению при взрыве на карьере необходимо установить места образования пыли и выполнить оценку доли каждого в общем количестве образованной пыли при взрыве.

### **Библиография**

1. Сивенков В.И., Иляхин С.В., Маслов И.Ю. Эмульсионные взрывчатые вещества и неэлектрические системы инициирования. М.: Щит-М, 2013.-320 с.(20 п.л.): ил.87.
2. О.С.Брюховецкий, С.В. Иляхин, А.П. Карпиков, В.П. Яшин Основы горного дела. СПб.: Издательство «Лань», 2018.-352 с. (Специальная литература).
3. Крюков Г.М., Глазков Ю.В. Феноменологическая квазистатическо- волновая теория деформирования и разрушения материалов взрывом промышленных ВВ. Отдельные статьи ГИАБ. — 2003. - №11. — 67 с. — М.: Изд-во МГТУ.
4. Адушкин В.В., Соловьев С.П. Электризация пылегазовых облаков массовых взрывов // Тез. докл. Международной конференции «Освоение недр и экологические проблемы-- взгляд в 21 век». М.: - РАН. - 2000. - С.7.

*Дезинтеграция глинистых пород при гидротранспортировании  
Клочков Н.Н.\* (МГРИ, klochkovnn@mgri.ru) Пятова Н.Е. (МГРИ,  
pyatovane@mgri.ru)*

**Аннотация**

В статье рассматриваются вопросы дезинтеграции глинистых пород в трубопроводе при гидротранспортировании гидросмеси за счет соударений кусков породы со стенками пульповода и их поверхностного истирания. Рассмотрены варианты движения частиц горной породы различной крупности в трубопроводе при скорости потока, близкой к критической. Определены зависимости коэффициента дезинтеграции от скорости транспортирования и плотности гидросмеси.

**Ключевые слова**

Дезинтеграция, глинистые породы, гидросмесь.

**Теория**

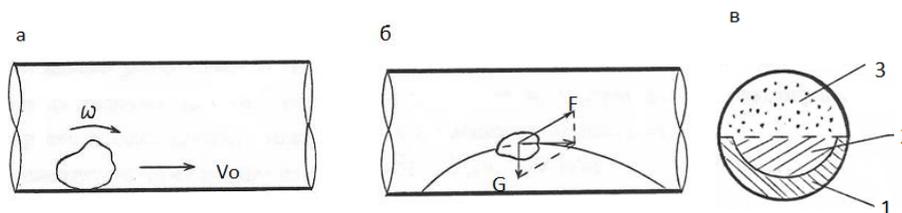
Дезинтеграция горных пород в процессе отделения от массива, транспортирования и обогащения характеризуется коэффициентом дезинтеграции, который показывает насколько полно произошло разделение исходного материала на составляющие его фракции, то есть он определяет соотношение между средним размером фракций гранулометрического состава и средним конечным размером куса горной породы в пробе [2]. Исследование процесса дезинтеграции проводилось на гидрокольцевом стенде с использованием конгломератов с глинистым цементом.

Перемещение частиц горной породы в потоке происходит под действием лобового давления, величина которого определяется по уравнению [4]:

$$F = \Psi_2 \rho_0 d^2 U_0^2,$$

где  $\Psi_2$  – коэффициент сопротивления при турбулентном обтекании частицы;  
 $\rho_0$  – плотность жидкости;  
 $d$  – диаметр частицы;  
 $U_0$  – относительная скорость потока.

Под действием этой силы при скорости потока, близкой к критической, происходит перемещение частицы путем перекачивания по нижней части стенки трубопровода (см.рис.1а) с частотой вращения  $\omega$  вокруг собственной оси.



**Рисунок 1.** Траектории движения частиц при гидротранспортировании (а, б) и их размещение по сечению трубопровода (в).

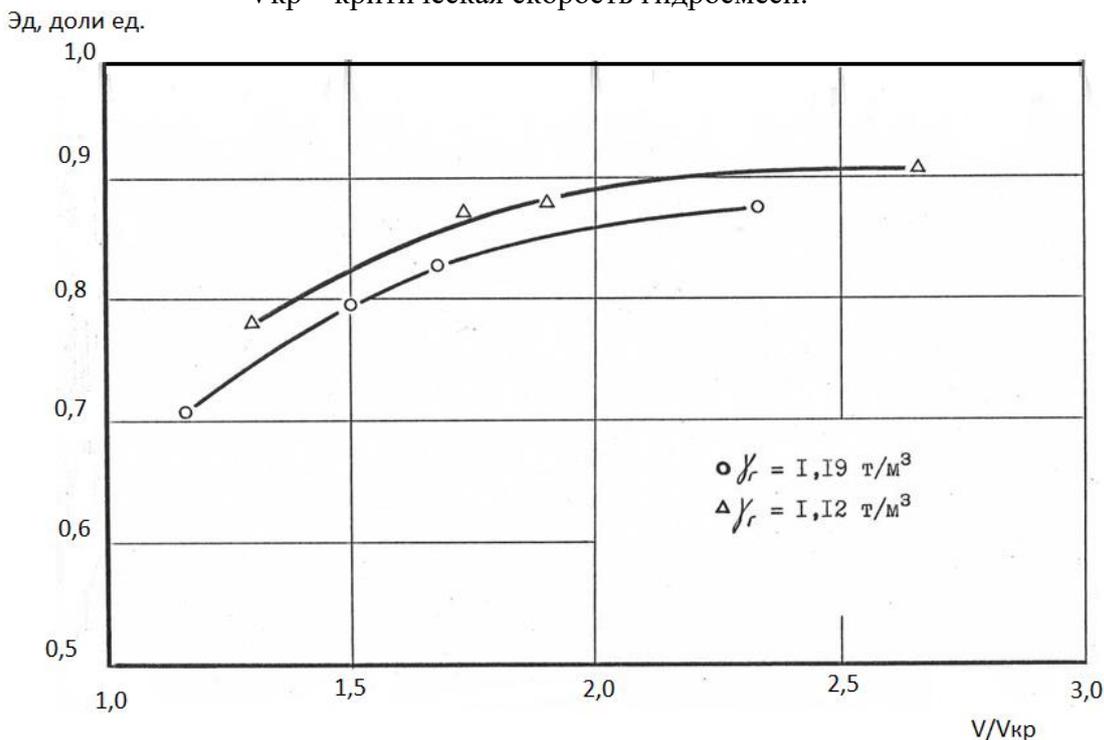
При этом за счет поверхностного истирания кусков породы о стенку трубопровода происходит дезинтеграция горной породы. С увеличением частоты

вращения куса породы повышается интенсивность разрушения. Частота вращения частицы является функцией линейной скорости, то есть скорости потока гидросмеси. Поэтому с увеличением скорости транспортирования гидросмеси возрастает коэффициент дезинтеграции (см.рис.2), на котором приведена зависимость коэффициента дезинтеграции [1] конгломератов, содержащих глинистый цемент, от относительной скорости:

$$V/V_{кр},$$

где  $V$  – линейная скорость гидросмеси;

$V_{кр}$  – критическая скорость гидросмеси.



**Рисунок 2.** Зависимость коэффициента дезинтеграции Эд конгломератов от скорости транспортирования гидросмеси  $V/V_{кр}$  при расстоянии транспортирования 2 км.

Критическая скорость гидросмеси соответствует минимальным гидравлическим сопротивлениям. Для трубопровода Ду 200 мм она составляет в зависимости от плотности гидросмеси ( $\gamma_r$ ):

$$\gamma_r = 1,12 \text{ т/м}^3; V_{кр} = 1,85 \text{ м/с};$$

$$\gamma_r = 1,19 \text{ т/м}^3; V_{кр} = 2,12 \text{ м/с};$$

При увеличении скорости гидросмеси возрастает также подъемная сила, которую можно определить по уравнению [1]:

$$F_{п} = \pi \rho_0 U \omega,$$

где  $\omega$  – частота вращения частицы.

За счет действия подъемной силы средние по величине частицы передвигаются вдоль трубопровода по скачкообразной траектории (см. рис.1б). При этом

режиме транспортирования дезинтеграция горной породы происходит в результате соударений кусков со стенкой трубопровода. Удар частицы о твердую границу потока характеризуется следующими основными параметрами: тангенциальной составляющей скорости частицы в момент удара  $U_t$ ; нормальной составляющей скорости  $U_n$ ; углом падения частицы к поверхности  $\beta_0(\text{tg } \beta_1 = U_t / U_n)$ ; нормальной к поверхности составляющей максимального усилия, возникающей в момент удара  $P_n$ . С возрастанием скорости частицы повышается количество ударов на единицу площади стенки трубопровода и их средняя сила  $P_n$ . За счет этого происходит увеличение коэффициента дезинтеграции [3].

Полное взвешивание частиц крупнее 5 мм не происходит даже при высоких скоростях транспортирования. При разработке конгломератов необходимо обеспечить дезинтеграцию кусков горной породы крупнее 2,5 мм, поэтому, как видно на рис.2, коэффициент дезинтеграции непрерывно увеличивается в области рассмотренных скоростей транспортирования гидросмеси (1,16 – 2,66)  $V_{кр}$ . Из этих зависимостей также видно, что с увеличением плотности гидросмеси коэффициент дезинтеграции уменьшается. Повышение плотности гидросмеси приводит к возрастанию количества частиц в поперечном сечении трубопровода (см.рис.1в).

При низких скоростях транспортирования, когда дезинтеграция происходит в результате истирания частиц о поверхность трубопровода, в основном дезинтегрируются частицы в прилегающей у поверхности трубы зоне 1 (см.рис.1в). При этом площадь поперечного сечения этой зоны практически не зависит от плотности гидросмеси, так как часть твердой составляющей гидросмеси, не поместившаяся в зоне 1, располагается в зоне 2. В зоне 3 концентрируются наиболее мелкие частицы, находящиеся во взвешенном состоянии и практически полностью продезинтегрированные.

Расслоение гидросмеси на три зоны достаточно условно, так как в результате турбулентных пульсаций происходит обмен частицами между зонами 1 и 2, а часть наиболее мелких частиц переходит в зону 3. Однако общая закономерность сохраняется – с увеличением плотности гидросмеси коэффициент дезинтеграции уменьшается. Эта закономерность действует также и при скачкообразной траектории движения частиц, так как с увеличением плотности гидросмеси ограничивается амплитуда перемещения частиц, которые при высокой плотности гидросмеси находятся в зажатом состоянии и совершают лишь некоторые колебания от среднего положения.

## **Выводы**

С увеличением скорости транспортирования гидросмеси и уменьшением ее плотности увеличивается сила взаимодействия кусков горной породы со стенками трубопровода и повышается коэффициент дезинтеграции конгломератов на 10 – 30 процентов.

## **Библиография**

1. Дробаденко В.П., Клочков Н.Н., Бунин Ж.В., Вильмис А.Л. Основные научные разработки кафедры геотехнологических способов и физических процессов горного производства. Горный журнал, 2018, № 11.
2. Клочков Н.Н. Оценка разрушающей способности гидромониторных струй. В сборнике: Стратегия развития геологического исследования недр: настоящее и

- будущее (к 100-летию МГРИ-РГГРУ). Материалы Международной научно-практической конференции. В 7-ми томах, 2018.
3. Клочков Н.Н., Пятова Н.Е., Носова К.С. Оптимизация процесса гидравлического разрушения труднопромывистых пород гидромониторными струями. В книге: Новые идеи в науках о Земле. Материалы XIV Международной научно-практической конференции: в 7 томах, 2019.
  4. Смолдырев А.Е. Трубопроводный транспорт. -М.: Недра, 1980.

***Разработка аэромобильной технологии экспресс-анализа гранулометрического состава разрушенных горных пород***

***Комаров Е.И. (МГРИ, e.i.komarov@rambler.ru), Митрушина А.С. \*(МГРИ, mitrushina-98@mail.ru)***

**Аннотация**

В ходе лабораторных исследований гранулометрического состава разрушенных горных пород фотопланиметрическим методом с использованием различных измерительных инструментов нами разработана новая аэромобильная технология экспресс-анализа гранулометрического состава буровзрывных развалов на базе современных беспилотных летательных аппаратов, оснащенных видеокамерами.

В настоящее время для повышения скорости получения оперативной информации о качестве буровзрывного дробления и установления степени однородности гранулометрического состава разрушенных массивов горных пород разрабатывается метод широкополосного сканирования фотоснимков, полученных с квадрокоптера по системе ГЛОНАСС или GPS.

**Ключевые слова**

Горные породы, гранулометрический состав, экспресс-анализ, квадрокоптер, сканер.

**Теория**

Одним из основных показателей, определяющим экономическую эффективность разработки рудных месторождений полезных ископаемых, является качество дробления горных пород на карьерах и рудниках. В настоящее время разрушение массивов скальных пород производится, в основном, буровзрывным способом. При разрушении скальных пород необходимо стремиться к среднему, технологически требуемому куску с минимальным выходом негабарита.

В целях повышения качества образовательного процесса нами был подготовлен стенд для проведения лабораторной работы по исследованию гранулометрического состава разрушенных горных пород, в ходе которого отрабатывался фотопланиметрический метод с использованием различных измерительных инструментов. Обработка одного фотоснимка с масштабируемой прямоугольной сеткой различными мерными линейками и курвиметрами занимает достаточно много времени, при этом метод ИПКОН РАН хотя и автоматизирован, однако достаточно трудоемок и требует значительных затрат (мощного компьютера и специальной программы). В связи с этим нами рассматриваются два, на наш взгляд, перспективных способа экспресс-анализа грансостава разрушенных горных пород:

- суть первого способа заключается в прибытии к месту развалов взорванных блоков после проветривания карьера (обычно через 1-2 суток после еженедельных взрывов) маркшейдера, который делает снимки фотоаппаратом широкополосного сканирования, после чего оперативно получаем гранулометрический состав разрушенных горных пород. В этом случае необходимо разрабатывать фотоаппарат широкополосного сканирования с программным обеспечением;

- суть второго способа заключается в запуске в небо после осадения пыли (через 30 минут после взрыва) квадрокоптера с навешенной на него масштабированной 100 x 100 мм сеткой (металл – 550 г/м<sup>2</sup>, стеклопластик – 110 г/м<sup>2</sup>) размером 2 x 1,5 м. Сетка может подвешиваться на квадрокоптер как вертикально, так и горизонтально (рисунок 1).



**Рисунок 1.** Квадрокоптер в полете с масштабированной сеткой (слева) и сделанный им снимок на развале горных пород (справа).

Квадрокоптер оснащен видеокамерой, способной вести трансляцию в режиме реального времени, а также делать отдельные фотоснимки после укладки на развал пород масштабированной сетки (см. справа рис.), после чего фотоснимок направляется оператору по системе ГЛОНАСС или GPS [1, 4]. В этом случае необходимо разработать только новый метод сканирования для экспресс-анализа фотопанограмм, что и является в настоящее время основной целью исследований.

Квадрокоптером может вестись съемка фотопанограмм не только развалов горных пород на рабочих площадках, но и загруженных сосудов транспортных средств в процессе их движения, что значительно повышает оперативность в принятии решений и открывает широкие возможности разрабатываемой технологии сканирования. Точной укладке масштабированной сетки в транспортный сосуд способствуют видео очки.

## Выводы

1. Идея разработки аэромобильной технология экспресс-анализа гранулометрического состава разрушенных горных пород является продолжением новых возможностей использования квадрокоптеров в горном деле [2, 3].
2. Анализ известных методов анализа гранулометрического состава разрушенных горных пород позволяет считать обработку фотопанограмм методом сканирования как наиболее перспективным в горном деле.

## **Библиография**

1. Витковская С. Дроны в карьер // Информация «Металлинвест», 2019.
2. Комаров Е.И., Зими́на А.А. Разработка техники и технологии оперативного контроля загрязнения окружающей среды // Всероссийская научно-практическая конференция «Потаповские чтения». М., эл. ресурс РГСУ, 2019.
3. Митрушина А.С., Комаров Е.И., Бунин Ж.В., Адамова Л.С. Разработка аэромобильной технологии отбора проб загазованного воздуха и загрязненной воды // IX Международная научная конференция молодых ученых «Молодые - наукам о Земле». – М., МГРИ, Том 4, 2020. – с. 25 – 28.
4. Шрайнер К.А. Применение БПЛА для решения горнотехнических задач // Российские беспилотники, 2017.
5. Соломенцев К.Ю., Пасенчук А.Э., Лачин В.И., Дьяченко В.Б., Плотников Д.А. Метод решения уравнений для высокоточных систем измерения электрических величин // Известия высших учебных заведений. Электромеханика 2020; 4: стр. 77-83.

**Геоинформационные технологии ПО**  
**Котова Е.Ю.\* (ФГБУ «ВИМС», kotova@vims-geo.ru)**

**Аннотация**

В данной статье представлена информация по работе геоинформационной системы ArcGis фирмы ESRI, способы ее применения и недостатки. В то же время на рынке ПО присутствуют российские компании по разработке геоинформационных систем. Аналоги применения системы ArcGis.

**Ключевые слова**

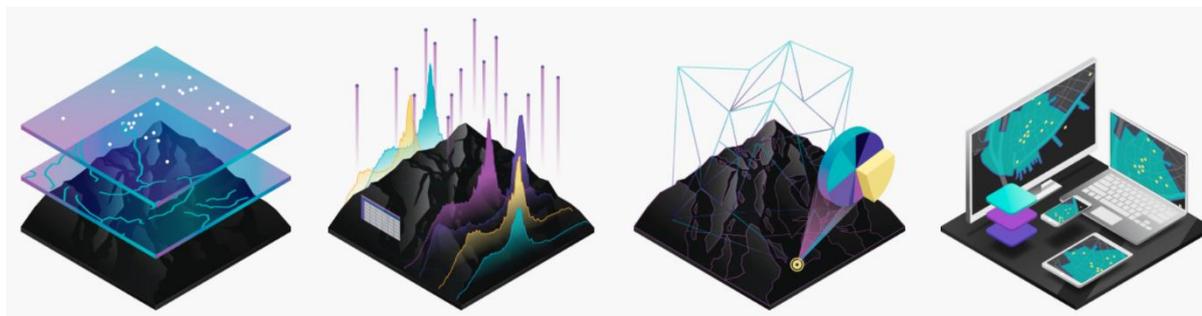
Геоинформационная система, карты, данные, анализ, отечественное ПО.

**Теория**

В настоящее время наиболее распространенной в отрасли геоинформационной системой является ArcGis фирмы ESRI.

ArcGIS – комплекс геоинформационных программных продуктов американской компании ESRI. Применяются для земельных кадастров, в задачах землеустройства, учёта объектов недвижимости, систем инженерных коммуникаций, геодезии и недропользования и других областях.

Она наиболее полно закрывает потребности пользователей в вопросах оперативного создания картографической продукции самого различного назначения для решения разнообразных задач стоящих перед геологами в их повседневной работе (рис. 1.).



**Рисунок 1.** Схема работы геоинформационной системы ArcGis фирмы ESRI.

На первой схеме - Карты - это географический контейнер для слоев данных и аналитики, которые вы хотите использовать. ГИС-картами легко обмениваться и внедрять в другие системы, это источник информации доступный практически всегда и везде.

На второй - Данные - в ГИС можно собрать множество различных данных, используя географическую привязку. Большинство данных имеют своё местоположение. Данные в ГИС - это снимки, векторные слои, базовые карты, связанные с табличной информацией.

Третья - Анализ - пространственный анализ позволяет оценить пригодность или создать прогнозную модель, интерпретировать данные для их лучшего понимания и многое другое.

Четвертая - Приложения - обеспечивают сфокусированный на конкретной задаче интерфейс и набор инструментов для предоставления возможностей ГИС каждому. ГИС-приложения работают практически везде: на мобильных телефонах, планшетах, в веб-браузерах и на настольных компьютерах.

Система не имеет ограничений на количество отображаемых на карте объектов, слоев и имеет одну из самых развитых баз геоданных. Эти положительные характеристики выгодно отличают ArcGis от другого геоинформационного ПО и позволяют использовать ее при создании больших геоинформационных систем на федеральном уровне или проведении больших аналитических работ с использованием большого количества данных.

Однако у ArcGis есть и свои недостатки. Это большая стоимость начальной покупки ПО и стоимость ежегодной технической поддержки только в рамках которой возможны обновления и модернизация программы.

Другим отрицательным фактором является громоздкость системы для решения мелких повседневных задач при построении локальных проектов. Выявленные ошибки в работе системы устраняются не мгновенно, а с запозданием выпуска нового релиза или версии ПО, что приводит к снижению оперативности.

В то же время на рынке ПО присутствуют российские компании по разработке геоинформационных систем. Наиболее близкими по структуре используемых данных и идеологии к ArcGis являются системы NextGIS QGIS и ГИС INTEGRО. Они не позволяют оперировать теми же объемами данных как ArcGis, но вполне справляются с более мелкими повседневными задачами и вполне могут эффективно применяться на региональном уровне для обеспечения геологов картографической продукцией, создании и поддержке локальных баз данных. Более того у всех упомянутых систем есть совместимость по форматам данных.

NextGIS QGIS - полнофункциональная настольная ГИС способная функционировать на рабочих станциях под управлением 32- и 64- разрядных систем.

Предназначена для создания и редактирования данных, производства карт, выполнения аналитических операций. Функциональность определяется большим количеством устанавливаемых расширений, загружаемых через меню «Управление модулями». Можно найти модули под самые разнообразные задачи, от геокодинга, до упрощения геометрии, интеграции с картографическими веб-сервисами и 3D-моделирования ландшафта. QGIS активно развивается международным сообществом, в котором Россия представлена командой NextGIS, специалисты которой оказывают техническую поддержку своим пользователям. NextGIS является открытой системой, что можно отнести как к положительным, так и отрицательным ее качествам.

NextGIS QGIS является отечественным ПО и включена в Единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных («Реестр отечественного ПО») приказом Минкомсвязи России от 29.04.2016 №183.

ГИС INTEGRО - комплекс представляет все необходимые возможности для подготовки ГИС-проектов и картографической основы для выполнения работ по изучению недр.

Разработанный во ФГУП ГНЦ РФ ВНИИгеосистем, наряду со стандартным набором инструментов для выполнения картографических работ (ввод, редактирование, пространственный анализ, координатная привязка, оформление и печать), сопоставимым с функционалом ArcGIS, комплекс предоставляет ряд существенных преимуществ для проведения прикладных геолого-геофизических исследований. Так же к преимуществам ГИС INTEGRО можно отнести тот факт, что комплекс до сих пор активно развивается и совершенствуется, имея при этом отзывчивую техническую поддержку.

ГИС INTEGRО является отечественным ПО и включена в Единый реестр российских программ для электронных вычислительных машин и баз данных («Реестр отечественного ПО») приказом Минкомсвязи России от 29.03.2018 №136.

## **Выводы**

Таким образом, на агрегирующем уровне большие объемы данных и проведении сложных аналитических работ в настоящий момент желательное использование системы ArcGis, а для региональных работ вполне оправдано использование упомянутых NextGIS QGIS и ГИС INTEGRО.

Использование системы ГИС INTEGRО в геологической отрасли более предпочтительно в связи с наличием в составе ПО специализированных модулей для решения геологических задач. Это и расширенный блок прогнозно-диагностических задач, аналитический аппарат обработки гравимагнитных данных, построение и обработка объемных моделей, автоматизированное построение разрезов и сечений, работа с данными по скважинам и другие модули способные упростить работу геолога.

## **Библиография**

1. <https://www.esri-cis.ru/ru-ru/home>.
2. <https://ru.wikipedia.org/wiki/ArcGIS>.
3. <https://www.esri.com/ru-ru/arcgis/products/arcgis-online/overview>.
4. [https://reestr.digital.gov.ru/upload/iblock/b76/136%20%D0%BE%20%D0%B2%D0%BA%D0%BB%D1%8E%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B8%20%D0%B2%20%D1%80%D0%B5%D0%B5%D1%81%D1%82%D1%80\\_2018.pdf](https://reestr.digital.gov.ru/upload/iblock/b76/136%20%D0%BE%20%D0%B2%D0%BA%D0%BB%D1%8E%D1%87%D0%B5%D0%BD%D0%B8%D0%B8%20%D0%B2%20%D1%80%D0%B5%D0%B5%D1%81%D1%82%D1%80_2018.pdf)

***К вопросу о подходе к цифровым технологиям при развитии минерально-сырьевых баз***

***Кузьмин М.Б. \*(ИПКОН РАН, krasavin\_08@mail.ru), Красавин А.Г. (ИПКОН РАН, krasavin\_08@mail.ru), Усова Т.Ю. (ИМГРЭ, krasavin\_08@mail.ru), Рыжова Л.П. (МГРИ, kafedra520@mail.ru)***

**Аннотация**

Рассмотрены перспективы использования цифровых технологий, отмеченных информацией ГИАС и отвечающих за развитие техники современных индустрий.

**Ключевые слова**

Системы разработки, мобильность технологических схем, планирование целей, цифровые технологии, геометризация недр.

**Теория**

Важным моментом развития научно-технического прогресса является сбор и систематизация информации об инфраструктуре корпораций, определяющие конкретику минерально-сырьевого потенциала, отвечающий за связь минерально-сырьевой политики и развитие технологий и техники на международной арене.

Международные корпорации рассчитывают при освоении недр использовать информационные технологии в моделировании системы ценностей индивидуально подобранной сортности руд и видов редких металлов с их переводом на цифровые технологии. Имея представление, как задействован потенциал интересов, отвечающих за организацию целевой геометризации недр и уровня технического развития, в том числе с применением и использованием самоходного технологического оборудования в системах разработки с торцовым выпуском руды необходимо отметить разумную достаточность добычи.

Оптимально выстраивая целевое развитие минерально-сырьевых баз в системах с торцовым выпуском руды, важно использовать уникальность конкретики «Атласа геометризации горно-геологических производств» и получать модели ореолов с использованием геолого-информационно-аналитических систем (ГИАС).

Все это указывает на то, что важным моментом в развитии горно-геологических производств является системно обработанная информация ГИАС, разрабатываемых в ИМГРЭ РАН и ВИМС [3], касаясь ценности минерально-сырьевого потенциала недр рудно-металлических месторождений и носящих национальный статус на международной арене.

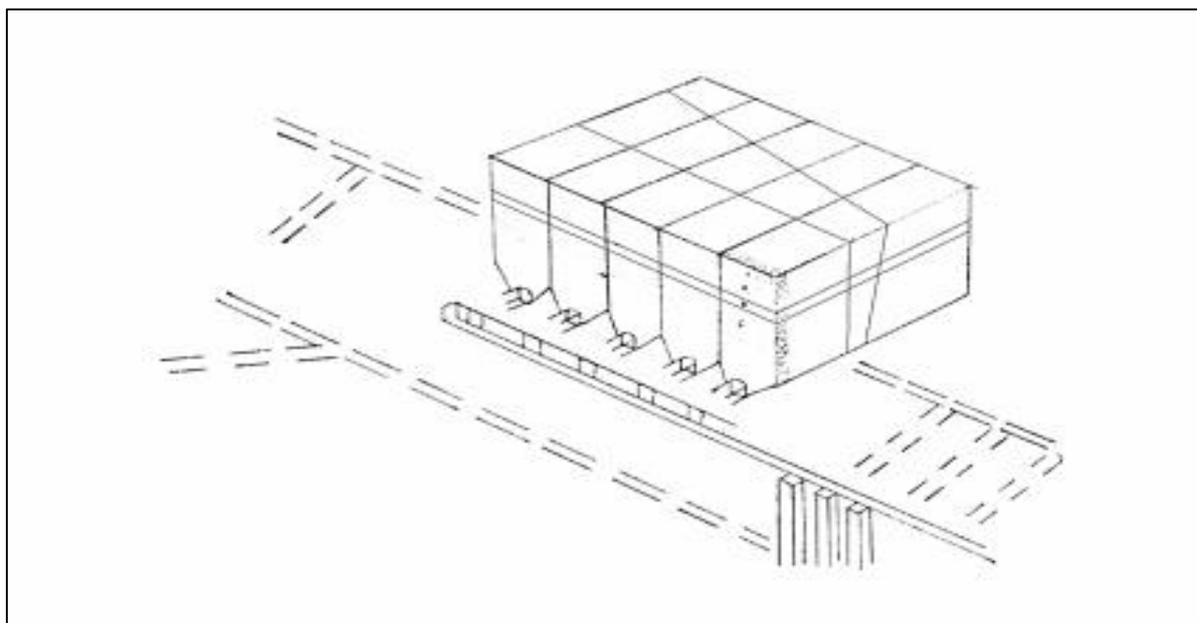
Мега генетическим ключом к алгоритму управления, устанавливающему гармонию развития техники и технологий, является оптимизация потенциала минерально-сырьевых баз в целевом назначении программ освоения рудно-металлических месторождений.

Мысль профессора, доктора технических наук Е.А.Козловского (МГРИ) указывает на политическую, военную, экономическую и научно-техническую сферы

влияния на международной арене, зависящие от полноты целевого использования потенциала недр [2, 1]. Все это закладывает основы рассмотрения конкретики минерально-сырьевых баз рудно-металлических месторождений редких, в том числе редкоземельных металлов, в пространственно-временном развитии разработки рудно-металлических месторождений. Для этой группы редких, в том числе редкоземельных металлов, важное значение имеет география жизненных циклов промышленных производств, определяемых с использованием цифровых целевых технологий горно-геологических производств, где задействована мобильность самоходного оборудования в системах с торцовым выпуском руды.

На основе многообразия вариантов освоения информационных полей Атласа технологического картирования расставляются акценты развития секторов и вектора современных индустрий.

Сущность оперативного управления целевым геолого-технологическим картированием заключается в выборе стратегии уровней мобильности самоходного оборудования, отраженного на рис. 1, где главным является организация наукоемких технологий горно-геологического производства, ориентированного на динамичность выбора наукоемких инноваций в современных индустриях.



*Использование геолого-технологического картирования при стратегическом планировании целей*

Все это будет определять будущность отношений кластерных связей, что особенно необходимо при выборе наукоемких технологий и техники.

Особого внимания заслуживает концептуальная организация мобильности самоходного оборудования в системах с торцовым выпуском руды, отмеченных потенциалом задействованных интересов, раскрывающих при этом цели моделирования геолого-технологических карт при разработке рудно-металлических месторождений.

Это достигается благодаря возможностям геометризации создавать модели новых видов сортности металлов с целевым назначением.

Исследуя новые виды сортности в системах цифровых технологий целесообразно применять производительность очистных забоев в Атласе целевой геометризации.

В географии сфер влияния на международной арене необходимо отметить систему оперативного управления сегментами и вектором в развитии современных индустрий – военно-промышленного комплекса, аэрокосмических и телекоммуникационных систем, связи и др. высоких технологий, определяя при этом ценность вариантности моделей сортности минерального сырья, отмечая при этом научно-технический задел, что позволит уверенно двигаться в фарватере мировых экономик.

## **Выводы**

Следует отметить важность круга возможностей цифровых технологий [4], где основой является геометризация недр рудно-металлических месторождений, отмечая при этом мысль о теоретико-методологических взглядах на развитие технологий и техники, в том числе подземных рудников, в чем нуждаются инфраструктуры современных индустрий, где основой технологии геометризации целевых назначений ценности минерально-сырьевого потенциала рудно-металлических месторождений для современных индустрий является уникальная конкретика вещественного состава сортности руд в цифровых моделях руднометаллических месторождений.

При таком подходе к использованию цифровых технологий, отвечающих за минерально-сырьевую безопасность горно-геологических производств, это является важной сферой деятельности, отвечающий за государственный фонд недр.

## **Библиография**

1. Козловский Е.А. Минерально-сырьевые ресурсы в экономике мира и России. – М.: ВНИИ Геосистем. – 2014. – 606 с.
2. Козловский Е.А. Проблемы стратегического исследования недр России. // Известия вузов. Геология и разведка. – 2015. - №2. – С. 52-59.
3. Редкие металлы на мировом рынке. / Ответственный редактор Т.Ю.Усова. – М.: ИМГРЭ РАН, 2008. – 195с.
4. Alexander R. Kalinin, Lyudmila P. Ryzhova, Alexander M. Kurchik The Directions for Forming an Effective Strategy System in the Mineral and Raw Materials Complex The International Scientific and Practical Forum “Industry. Science. Competence. Integration” ISCI 2019: Industry Competitiveness: Digitalization, Management, and Integration pp 613-618.

**Основные методы определения расчетных нагрузок буровых установок при ведении геологоразведочных работ**

**Ломаев С.С.\* (МГРИ, serrega300491@mail.ru), Головин С.В. (МГРИ, golovinsv@mgri.ru), Меркулов М.В. (МГРИ, merkulovmv@mgri.ru)**

**Аннотация**

Начальным этапом проектирования систем энергоснабжения геологоразведочного объекта является прогнозирование электрических нагрузок, от которого зависит выбор источника и сопутствующих элементов системы электроснабжения, что определяет её экономичность и, в конечном итоге, эффективность проводимых работ. Анализ детерминированных и вероятностных методов определения расчетных электрических нагрузок буровых установок колонкового бурения выявил их зависимость от глубины бурения скважин, что определяет необходимость увязки расчетных коэффициентов с технико-технологическими особенностями бурения.

**Ключевые слова**

Буровая установка, разведочное бурение, электрическая нагрузка, потребляемая мощность, методы расчета.

**Теория**

Прогнозирование электрических нагрузок является начальным этапом проектирования систем энергоснабжения производственного объекта. Правильное определение расчетных нагрузок определяет степень экономичности систем электроснабжения и уровень эффективности проводимых работ. Мониторинг и статистическая обработка фактических электрических нагрузок позволяют корректировать их расчетное значение, что имеет важное значение при проектировании новых и реконструкции действующих систем электроснабжения. Под расчетной нагрузкой буровой установки будем понимать значение получаемого максимума за наиболее загруженную смену. Вероятность превышения фактической нагрузки над расчетной не превышает значения 0,05 на интервале осреднения, длительность которого принята трем постоянным времени нагрева  $3T_0$  элемента системы электроснабжения, через который передается ток нагрузки [1, 2, 3, 4], при значении постоянной времени нагрева 10 минут для сетей напряжением до 1 кВ [5].

Исследователи [1, 2, 5] выделяют несколько уровней электроприёмников, различающихся характером электропотребления и способом расчета электрических нагрузок. Применительно к буровым установкам колонкового бурения, нас интересует самый низкий уровень такой иерархии – линии электрических сетей, связывающие отдельных потребителей напряжением 0,4 кВ с распределительными пунктами и щитами управления, включая потребителей систем утилизации теплоты [6]. Рассмотрим основные методы расчета электрических нагрузок.

Все методы можно разделить на детерминированные и вероятностные. Первые используют технические нормы и эмпирические зависимости, а вторые – статистические данные. К основным методам можно отнести следующие:

- 1) Метод удельного расхода электроэнергии.

В этом методе расчетные нагрузки определяются по величине удельного расхода электроэнергии на выпуск единицы продукции за расчетный период, который при бурении геологоразведочных скважин может быть отнесен к 1 метру бурения, кВт\*ч/м.

Этот метод широко применяется для потребителей с равномерной нагрузкой, близкой к средней, таких как компрессоры, насосы и т.п. Для буровых установок удельный расход электроэнергии зависит от значительного числа факторов и изменяется в очень широких пределах, что делает этот метод практически не применимым.

## 2) Метод наложения графиков нагрузки.

Суть метода заключается в определении индивидуальных графиков нагрузки отдельных электроприемников с последующим их наложением и суммированием. Этот метод требует знания индивидуальных графиков нагрузки и, что особенно важно, их сдвига относительно друг друга.

## 3) Метод коэффициента спроса.

Этот метод позволяет определить расчетную нагрузку с помощью коэффициента спроса  $K_C$ , как отношение максимальной мощности за получасовой период  $P_{\max}$  к суммарной номинальной мощности потребителя. Кроме коэффициента спроса, показателями работы электрооборудования являются:

- коэффициент использования  $K_I$ , как отношению средней мощности  $P_{CP}$  к суммарной номинальной мощности потребителя.

- коэффициент максимума  $K_{\max}$ , как отношению максимальной мощности  $P_{\max}$  к средней  $P_{CP}$ .

Оперируя этими коэффициентами, можно представить коэффициент спроса  $K_C$ , как произведение коэффициентов использования  $K_I$  и максимума  $K_{\max}$ . Расчетная нагрузка группы потребителей определяется как сумма номинальных мощностей  $i$ -го количества потребителей  $P_{Ni}$  с учетом его коэффициента спроса  $K_{Ci}$ .

Коэффициент спроса  $K_C$  является параметром, объединяющим коэффициенты использования  $K_I$  и максимума  $K_{\max}$ . Этот метод является наименее сложным и рекомендуется для выполнения предварительных расчетов. Основную проблему представляет подбор коэффициента спроса  $K_C$  по справочным данным, что приводит к значительным отклонениям расчетных нагрузок от фактических.

## 4. Метод коэффициентов использования и максимума или метод упорядоченных диаграмм (является рекомендованным для всех отраслей [2]).

При отсутствии достоверных фактических данных, расчетные нагрузки определяются как произведение коэффициента использования  $K_I$ , коэффициента максимума  $K_{\max}$  и номинальной мощности потребителя  $P_N$ , причем коэффициент максимума  $K_{\max}$  определяется по величине коэффициента использования  $K_I$  и эффективному числу приёмников в группе  $nЭ$  – такому числу однородных по режиму работы электропотребителей равной мощности, которое обеспечивает такой же получаемый максимум нагрузки, как и группа разнородных по мощности и режиму работы электроприёмников.

Недостатком этого метода является определение коэффициента использования КИ по справочным таблицам, что привносит в расчеты элемент неточности.

#### 5. Статистический метод.

Этот метод является более точным и основан на определении статистической функции распределения нагрузки, которая определяется как сумма средней нагрузки РСР и среднеквадратичного отклонения (СКО)  $\sigma$ , с учетом коэффициента вероятности допущения ошибки  $\beta$ . Величину СКО  $\sigma$  средней нагрузки можно определить из графиков нагрузок потребителей через среднеквадратичное  $P\sigma$  и среднее РСР значения мощности

$$\sigma = \sqrt{P_{\sigma}^2 - P_{\text{СР}}^2}, \text{ кВт} \quad (1)$$

учитывающие общее время работы электропотребителя и величину мощности, действующей в течение этого времени.

Одной из характеристик графика нагрузки является коэффициент формы графика, как отношение среднеквадратичного значения мощности  $P\sigma$  к средней нагрузке  $P_{\text{СР}}$ , поэтому СКО  $\sigma$  может также быть определено через коэффициент формы графика  $K_{\text{Ф}}$

$$\sigma = P_{\text{СР}} \sqrt{K_{\text{Ф}}^2 - 1}, \text{ кВт} \quad (2)$$

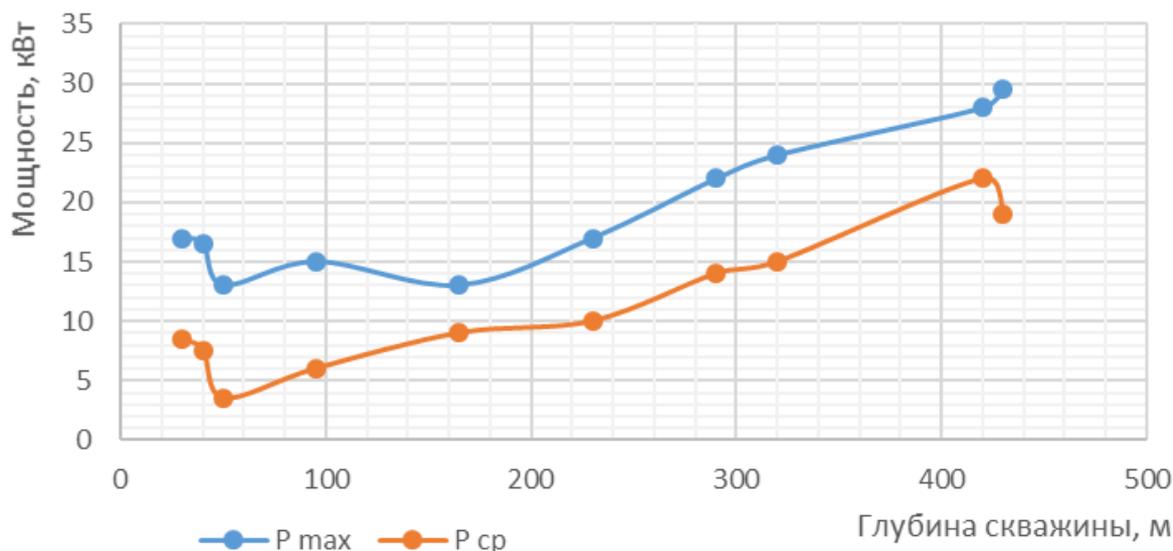
в связи с чем параметры распределения электрической нагрузки определяют по статистическим данным на основе фактических графиков нагрузки.

Недостатком этого метода является необходимость обработки большого объема статистических данных.

Рассмотрев основные методы определения расчетных нагрузок, которые можно использовать применительно к буровым установкам колонкового бурения, отметим:

- практически все методы требуют необходимых справочных данных;
- наиболее востребованным является коэффициент использования  $K_{\text{И}}$ ;
- метод удельных расходов может быть использован для незначительно изменяющихся графиков нагрузки, что характерно для вспомогательного производства (котельные установки, компрессорные, насосные станции и т.п.);
- наиболее приемлемые результаты дает метод упорядоченных диаграмм [2], который и рекомендуется для определения расчетной нагрузки буровой установки, в том числе в рамках технико-экономического моделирования при оптимизации комплексного энергоснабжения геологоразведочных работ [7].

Замеры мощности и снятие графиков нагрузки в производственных условиях показали, что наибольшее влияние на величину электрической нагрузки буровой установки оказывает глубина бурения скважин. На рисунке 1 приводятся зависимости максимальной и средней мощностей, потребляемых электрооборудованием буровых установок колонкового бурения, от глубины бурения геологоразведочных скважин.



**Рисунок 1.** Зависимость максимальной ( $P_{max}$ ) и средней ( $P_{cp}$ ) мощности буровых установок колонкового бурения от глубины скважины

## Выводы

Результаты рассмотрения основных методов расчета электрической нагрузки установок разведочного бурения и анализа результатов замеров мощности и графиков нагрузки в производственных условиях показали, что наибольшее влияние оказывает глубина бурения скважин, с которой должны быть увязаны расчетные коэффициенты, применяемые при определении расчетных электрических нагрузок, во избежание возникновения погрешностей усреднения.

## Библиография

1. Плащанский Л.А. Основы электроснабжения горных предприятий. М, Изд. МГГУ, 2005.
2. РТМ 36.18.32.4-92 Указания по расчету электрических нагрузок. Введен с 01.01.1993г. ВНИПИ «Тяжпромэлектропроект».
3. Федоров А.А., Каменова В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий. М, «Энергия», 1979.
4. Лимитовский А.М., Косьянов В.А. Электрооборудование и электроснабжение геологоразведочных работ. М, РУДН, 2009.
5. Жохов Б.Д. Анализ причин завышения расчетных нагрузок и возможность их коррекции // Промышленная энергетика, 1989, №7, С. 7-9.
6. Косьянов В.А., Меркулов М.В., Головин С.В. Повышение энергоэффективности разведочного бурения посредством автоматического регулирования работы теплоутилизационных установок // Горный журнал, № 11'2018, С. 51-55.
7. Косьянов В.А., Черезов Г.В., Головин С.В. Оптимизация комплексного энергоснабжения геологоразведочных работ на основе технико-экономического моделирования // Разведка и охрана недр, №3'2016, С. 47-53.

***Анализ методов определения расходов жидкости конструкциями переменного перепада давления***

***Некоз К.С. \*(МГРИ, nekozksy@mail.ru)***

**Аннотация**

Анализируются методы определения расхода жидкости устройствами, принцип действия которых основан на измерении перепада давления. Приводятся основные сравнительные характеристики расходомеров различных типов, указываются недостатки некоторых стандартных измерительных устройств. Обосновываются преимущества применения трубы Вентури на трубопроводах различных диаметров.

**Ключевые слова**

Расходомер, труба Вентури, перепад давления, гидросмесь, расход жидкости, трубопровод.

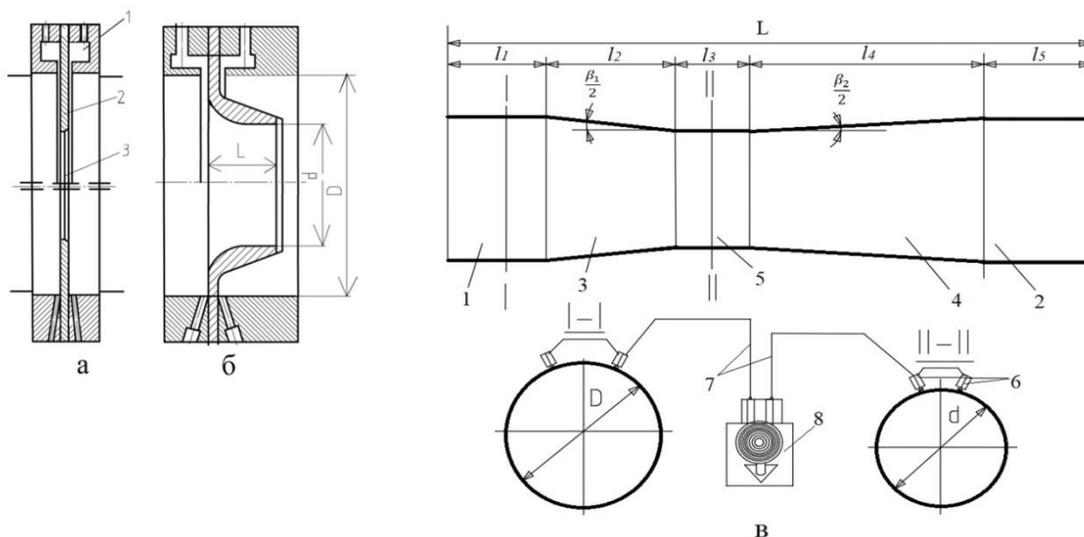
**Теория**

В гидравлических расчетах трубопроводов помимо потери давления на трение необходимо учитывать местные потери давления, вызываемые внезапным или плавным изменением живого сечения потока, движением с изменением скоростей, соединения и разделения потока, а также обусловленные запорной аппаратурой, различными устройствами и другими факторами.

Для осуществления оперативного контроля режимов работы виды транспортных комплексов целесообразно использовать контрольно-измерительную аппаратуру, принцип действия которой основан на измерении переменного перепада давления, создаваемого на трубопроводе стандартными устройствами. Такие устройства целесообразно применять вследствие простоты их конструкции, надежности эксплуатации, возможности изготовления в уникальных условиях с достаточной точностью измерений, не превышающей допустимых погрешностей.

Из нескольких самостоятельных групп расходомеров переменного перепада давления наибольшее применение ( $\approx 60-70\%$ ) на практике получили расходомеры с сужающими устройствами. Их достоинствами являются универсальность применения, удобство массового производства, простота конструкции, отсутствие необходимости в образцовых расходомерных установках.

К стандартным сужающим устройствам, которые создают местные сопротивления потока жидкости, протекающей через них, относятся диафрагмы, сопла, сопла Вентури, трубы Вентури (рис. 1). В результате перехода части потенциальной энергии давления в кинетическую средняя скорость потока в суженном сечении увеличивается, вследствие чего статическое давление в данном сечении становится ниже аналогичного перед сужающим устройством. Разность этих давлений тем выше, чем больше расход транспортирующей жидкости, поэтому может служить мерой расхода. [1, 2, 4]



**Рисунок 1.** Стандартные сужающие устройства для измерения расхода жидкости. а) диафрагма с камерным отбором давления (1 – камера, 2 – диск, 3 – отверстие); б) сопло Вентури; в) труба Вентури (1,2 – входной и выходной участки, 3 – конфузор, 4 – диффузор, 5 – горловина;  $\beta_1$  – угол сходимости конфузора,  $\beta_2$  – угол сходимости диффузора).

Сравнительные параметры расходомеров, применяемых в нефтяной промышленности, приводятся в табл. 1.

Таблица 1

Сравнительные параметры расходомеров-счетчиков

Тип счетчиков	Максимальная вязкость, $10^{-6}$ МПа/ч	Диаметр, мм	Расход, max/min	Погрешность, %	Потеря давления, МПа	Рабочее давление, МПа
Переменного перепада давления:						
диафрагма	-	50-1000	3	1-3	0,015	10
сопло	-	50-500	3	1-3	0,001	10
Ультразвуковые расходомеры						
одноканальные	50	25-600	15	1	-	10
многоканальные	50	250-1800	20	0,5	-	10
Вихревые	50	50-250	10	0,5	0,04	10
Тахометрические расходомеры:						
Камерные с овальными шестернями	300	15-150	10	0,5	0,05	6,4
лопастные	100	25-250	10	0,5	0,05	6,4
турбинные	100	8-600	10	0,04	0,04	32

Несмотря на простоту конструкции, применение диафрагм ограничивается тем, что они вызывают значительные потери напора за счет резкого сужения. Кроме того, слабым местом диафрагмы является входная кромка, которая под действием текущего потока притупляется, что приводит к постепенному увеличению ее коэффициента расхода и увеличению погрешности отрицательного знака. Создание сужающих устройств в виде сопла и трубы Вентури вызвано необходимостью иметь достаточную точность измерения и малые потери напора.

Опыт показывает, что из всех сужающих устройств (диафрагм, сопел и т. д.) наиболее совершенными в гидравлическом отношении являются трубы Вентури. Они наиболее применимы для трубопроводного транспорта. Труба Вентури представляет собой устройство, состоящее из входного участка (его внутренний диаметр равен диаметру трубопровода), конфузора - усеченного конуса с центральным углом сходимости  $\alpha_{сх}$ , горловины (внутренний диаметр меньше диаметра входной части), диффузора - усеченного конуса, соединенного с выходным участком, диаметр которого равен диаметру трубопровода.

Трубы Вентури, в зависимости от материала, условного диаметра и условного давления, выпускаются трех типов: А, Б и В, соответственно на трубопровод с внутренним диаметров 200-1400 мм, 100-800 мм, 50-250 мм. Статическое давление в трубах Вентури отбирают через кольцевые камеры, соединённые с внутренней полостью отверстий полностью через отверстие диаметром 4-12 мм.

## Выводы

Практика применения расходомеров на базе трубы Вентури свидетельствует о достаточной их точности ( $\approx 2,5\%$ ) и надежности при работе в установках гидротранспорта. Труба Вентури, по мнению специалистов, не требует тарировки при условии изготовления ее согласно Правилам РД 50-213-80 на изготовление сужающих устройств. Для точности измерения расхода большое значение имеет постоянство проходного сечения трубы Вентури. Поэтому при использовании расходомера рекомендуется выполнять трубу Вентури разъемной — с вкладышами из специальной стали (для замены по мере износа). [3, 4]

## Библиография

1. Кремлевский П.П. Расходомеры и счётчики количества веществ: Справочник / П.П. Кремлевский; Под общ. ред. Е.А. Шорникова. - 5. изд., перераб. и доп. - СПб. : Политехника, 2004 - 22 см.
2. Панарин В.В. Автоматизированные системы управления в трубопроводном транспорте нефти : [Учеб. при проф. обучении рабочих на пр-ве]. / В. В. Панарин, Л. А. Зайцев. - М. : Недра, 1986. - 254,[1] с. : ил.; 22 см.
3. Приборы для измерения параметров гидротранспортирования твердых материалов [Текст] / Акад. наук УССР. Ин-т гидрологии и гидротехники ; Н. А. Силин, И. А. Пищенко, К. В. Диминский и др. - Киев : Изд-во Акад. наук УССР, 1963. - 198 с. : черт.; 23 см.
4. РД 50-213-80 Правила измерения расхода газов и жидкостей стандартными сужающими устройствами. Изд. офиц. / Гос. ком. стандартов, мер и измерит. приборов СССР. - Москва : Изд-во стандартов, 1982. - 320 с.

**Методика оценки повторяемости геонавигационных моделей горизонтальных скважин**

**Орлов Н.М.\* (РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, orlovnikitax@gmail.com), Казаков А.Д. (РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, kazakov.andrew2016@yandex.ru), Сребродольская М.А. (РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, mary\_roza@bk.ru)**

**Аннотация**

В работе представлен способ математической оценки повторяемости моделей кровли пласта-коллектора, которые создаются в процессе геонавигации при проходке ствола скважины. Предложенная методика позволяет оценить соответствие различных сценариев проходки одной и той же скважины друг другу, если они выполняются разными авторами или одним автором несколько раз.

Как правило, оценка эффективности проведенной геонавигации проводится по экономическим показателям продуктивности скважины либо по отношению эффективной длины к общей длине горизонтального ствола [1] (коэффициенту вскрытия пласта). Результат моделирования во многом зависит от субъективных решений специалиста. При этом не проводится математическая оценка проведенного моделирования и сам процесс геонавигации не оценивается – во внимание принимают только результаты бурения горизонтальной скважины, сопровождаемой сервисом геонавигации. Отсутствие детальных исследований погрешностей геонавигации обуславливает актуальность исследования.

**Ключевые слова**

Геонавигация, горизонтальные скважины, каротаж в процессе бурения, геометрическая модель кровли, сравнение поверхностей.

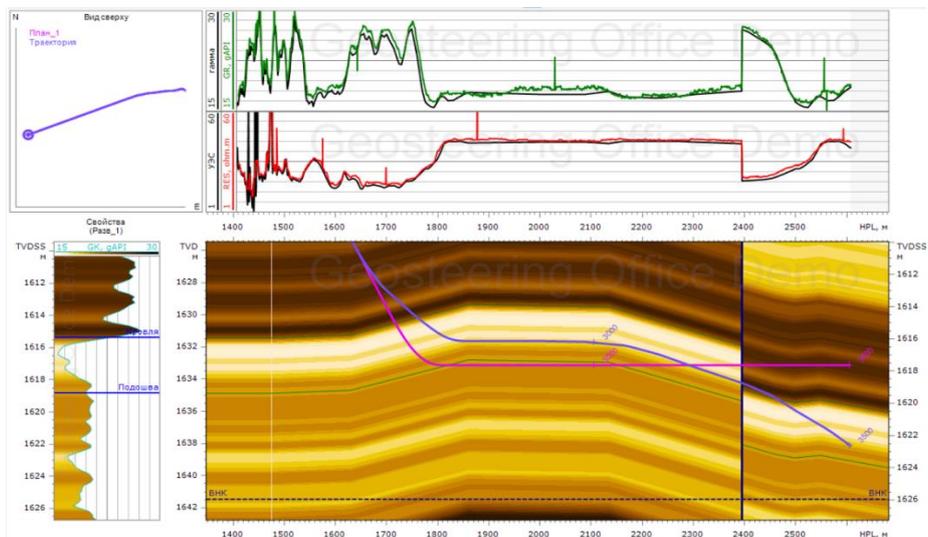
**Теория**

Геонавигация – процесс корректировки/мониторинга траектории скважины по данным ГИС в режиме реального времени с целью наибольшей проходки по продуктивному коллектору. При геонавигации бурение горизонтального ствола скважины осуществляется на основе корреляции данных каротажа, поступающего в процессе бурения, с синтетическим каротажем, полученным по геонавигационной модели [4].

Корреляция синтетической и фактической кривых каротажа осуществляется вручную путём изменения структурных поверхностей геологической модели. Синтетические кривые строятся автоматически путём соотнесения планируемой траектории скважины с предположительным распределением физических свойств в разрезе, которое получается по результатам проведения ГИС в опорных скважинах, вдоль предполагаемых в геологической модели границ пласта [2, 3].

Площадкой реализации исследования был выбран отечественный программный продукт Geosteering Office. В рамках работы на данном этапе исследования было создано шесть геонавигационных моделей, основой которых послужили данные двух опорных

скважин. На рисунке 1 приведен пример построения геонавигационной модели по скважине 1.



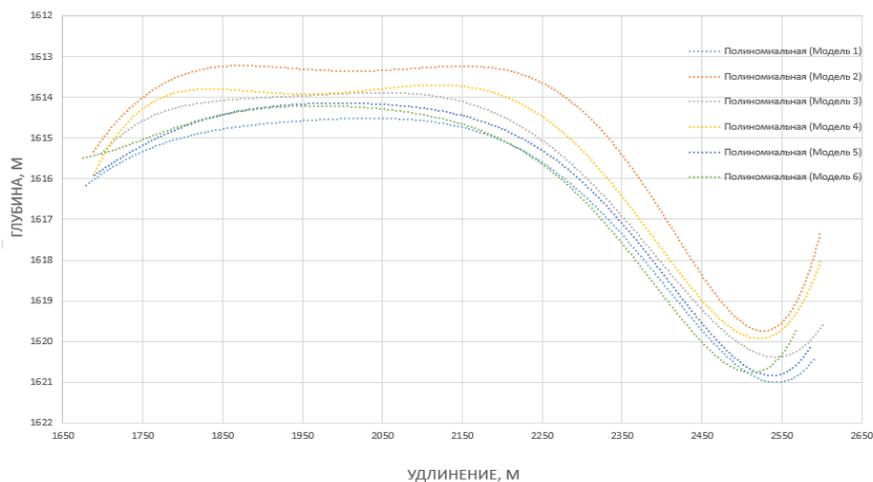
**Рисунок 1.** Пример геонавигационной модели, построенной в ходе исследования.

Полученные результаты были экспортированы в Excel, где было осуществлено их наглядное для каждого из реализованных сценариев (рис. 2). На данном рисунке видно некоторое расхождение положений кровли, полученных в ходе геонавигационного моделирования. Проекция кровли пласта отличается как при построении моделей одним человеком, так и при построении моделей разными людьми. Погрешность геонавигации наглядно демонстрируется визуализированными в Excel моделями (см. рис. 2). В качестве реперной точки при сравнении проекций кровли пласта на ось скважины, полученных в шести геонавигационных моделях, был взят разлом, пересекающий плоскость геологического разреза. Расхождение в положениях кровли по вертикали достигает порядка 2.5 м; в положениях разлома по горизонтали – порядка 1.5 м. Это может быть крайне существенным при проводке скважины в пластах малой мощности.



*Графическое представление построенных геонавигационных моделей.*

Авторами был разработан алгоритм математической оценки повторяемости геонавигационных сценариев между собой. Для этого использованы аппроксимирующие полиномы 6-й степени, построенные для каждой модели в Excel (рис. 3).



Полиномиальное представление геонавигационных моделей.

На основе данных, экспортированных из Excel, авторы получили значения каждого коэффициента полиномиальной функции. Путём нормирования находятся диапазоны изменения каждого числового коэффициента кривой среди набора моделей. Вычисляется математическое ожидание коэффициентов после нормировки и отклонение их от своего математического ожидания. Отклонение от данного математического ожидания было названо авторами алгоритма коэффициентом повторяемости. В таблице 1 представлены значения нормированных коэффициентов, вычисленных с помощью формулы двойного разностного параметра. В таблице 2 авторами проведено вычисление отклонений коэффициентов полинома от их математического ожидания, то есть, коэффициентов повторяемости.

Таблица 1.

Нормированные коэффициенты полиномиальной функции

Модель/Коэфф	k1	k2	k3	k4	k5	k6	k7
1	0.622665006	0.3269231	0.5454545	0.5	0.5650373	0.4666412	0.51599
2	0	1	0	1	0	1	0.029291
3	1	0	0.9818182	0	0.930406	0.0949002	0.882946
4	0.97135741	0.0096154	1	0	1	0	1
5	0.373599004	0.6153846	0.3636364	0.8333333	0.2775476	0.7536407	0.237868
6	0.124533001	0.9038462	0	1	0.0302403	0.9993049	0
<b>МАТ ОЖИДАНИЕ</b>	0.51535907	0.4759615	0.4818182	0.5555556	0.4672052	0.5524145	0.444349

Таблица 2.

Коэффициенты геонавигационной повторяемости

Модель/Коэфф	k1	k2	k3	k4	k5	k6	k7	Общий коэффициент повторяемости
1	0.208215868	0.3131313	0.1320755	0.1	0.2093986	0.1552699	0.161226	0.182759525
2	1	1.1010101	1	0.8	1	0.8102349	0.93408	0.949332197
3	0.940394684	1	1.0377358	1	0.991429	0.8282083	0.987054	0.969260305
4	0.884816754	0.979798	1.0754717	1	1.1403872	1	1.250482	1.047279363
5	0.275070479	0.2929293	0.245283	0.5	0.4059406	0.3642668	0.464681	0.364024514
6	0.758356826	0.8989899	1	0.8	0.9352741	0.8089765	1	0.885942482
<b>МАТ ОЖИДАНИЕ</b>	0.677809102	0.7643098	0.7484277	0.7	0.7804049	0.6611594	0.799587	0.733099731

## Выводы

Проведённая аналитическая обработка геонавигационных сценариев позволила математически оценить повторяемость геонавигационных моделей между собой. Итогом работы стало построение таблицы коэффициентов повторяемости и расчет общего коэффициента повторяемости для шести моделей. В соответствии с таблицей 3, повторяемость построенных геонавигационных сценариев между собой оценена как средняя, ближе к низкой. Это говорит о значительной степени влияния человеческого фактора на результаты геонавигационного моделирования.

Таблица 3.  
Оценка повторяемости моделей

Значение коэффициента повторяемости	Оценка повторяемости модели
0-0,4	Высокая
0,4-0,8	Средняя
0,8-1 и более	Низкая

Анализ построенных моделей показывает существенное различие в полученных геонавигационных разрезах, построенных разными исполнителями. Вертикальное расхождение в значении положения глубины кровли для каждой модели составляет порядка 2.5 метров, в положении разлома порядка 1.5 метров.

В данной работе представлена методика сравнения нескольких геонавигационных моделей. Её можно будет использовать для исследования влияния различных факторов на погрешность построенных моделей и результат геонавигации. Данный способ может быть легко масштабирован и применён к сравнению большого количества геонавигационных моделей одной скважины между собой. С помощью этой методики можно оценивать влияние различных факторов и условий проведения работ на результат геонавигации.

## Библиография

1. Морозов О., Овчинников А. Геологическое сопровождение бурения online. Offshore Russia, август 2015 г., с 52-56.
2. Н.М. Орлов, А.Д. Казаков, М.А.Сребродольская. Исследование влияния человеческого фактора при построении геонавигационных моделей горизонтальных скважин. Уфа: Изд. НИЦ Вестник науки, 2020 г., 179 с. 169-174 с.
3. Сребродольская М.А. Особенности проведения каротажа в процессе бурения горизонтальных скважин для оценки фильтрационно-ёмкостных свойств горных пород. М., РГУ нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина, 2019 г., 13 с. DOI 10.33285/2073-9028-2019-1(294)-45-57.
4. Стищенко С.И., Сабиров А.Н. Геонавигация в 5 кликов. М., ООО «ЕАГЕ Геомодель», 2018 г., 161 с. ISBN 978-5-9651-1171-8, 81-82 с.

***Обоснование целесообразности разработки угольных месторождений  
в арктической зоне Чукотской автономной области  
Петрунин А.М.\* (Санкт-Петербургский горный университет,  
amtrunin@yandex.ru), Решетняк С.П. (Санкт-Петербургский горный  
университет, e-mail)***

**Аннотация**

В статье обобщены сведения о состоянии минерально-сырьевой базы углей Чукотского автономного округа. Рассмотрены факторы, влияющие на перспективность освоения запасов. Проанализированы данные по геологической информации, полученной при разведке и разработке месторождений, исследованы особенности разработки угольных месторождений открытым способом в условиях криолитозоны. Произведена оценка статистической информации по показателям добычи угля за период с 2013 года. Рассмотрены условия для формирования местных топливно-энергетических центров, которые могут стать катализатором повышения уровня добычи полезных ископаемых в регионе, а также развития сети промышленных объектов.

**Ключевые слова**

угледобыча; угольный карьер; открытая разработка; криолитозона

**Теория**

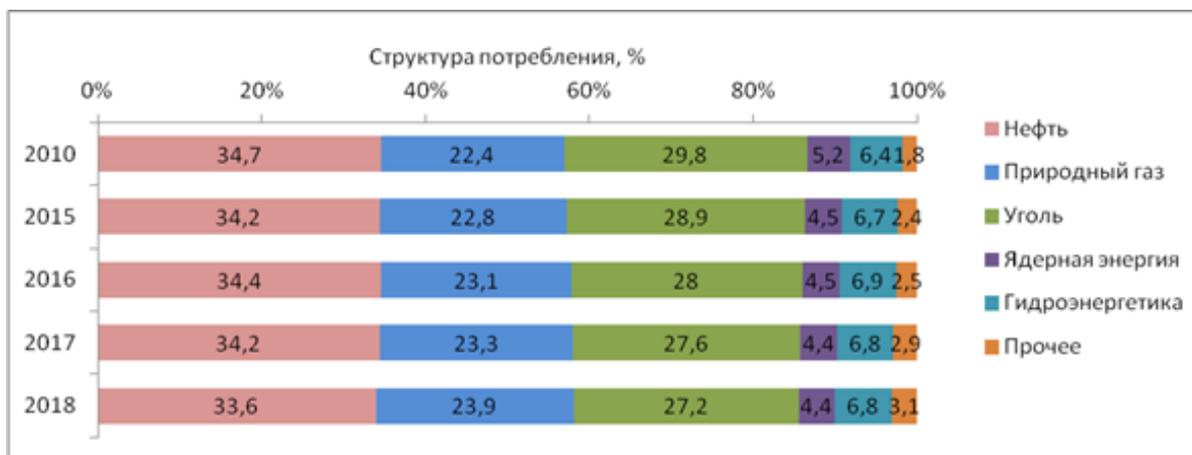
В последние годы недропользователи усиливают присутствие в Арктике в направлении Чукотского автономного округа и Таймырского угольного бассейна, это те районы, которые в перспективе способны создать экспортно-ориентированные центры угледобычи. В Чукотском АО запасы угля приурочены к Анадырскому и Беринговскому угольным бассейнам (рисунок 1). Государственным балансом учитываются балансовые запасы угля кат. А+В+С1 8 угольных месторождений (20 объектов учета) в количестве 188,632 млн т, кат. С2 – 511,206 млн т; забалансовые – 56,240 млн т. Балансовые запасы бурого угля кат. А+В+С1 составляют 38,8 % от суммарных по округу, а каменного – 61,2 % [9]. В настоящее время разрабатывается проект освоения Амаамской и Верхне-Алькатваамской угольных площадей, который осуществляют совместно АО «Северо-Тихоокеанская угольная компания» и ООО «Берингпромуголь», входящие в австралийскую компанию Tigers Realm Coal Ltd. Помимо вышеперечисленных угольных объектов, в Чукотском автономном округе разведан или оценен ряд месторождений и углепроявлений в других районах с различной степенью детальности.

Известно, что твердые горючие ископаемые могут вмещать в себе большое количество химических элементов – примесей, многие из них являются ценными. Такие примеси можно обнаружить в углях месторождений Арктической зоны, кроме того, их объемы могут достигать рудных концентраций. Присутствие ценных примесей усиливает инвестиционную привлекательность угольных месторождений для добычи и увеличивает экспортную стоимость угля [4]. В углях ряда месторождений Арктической зоны России установлены аномальные концентрации целого ряда ценных элементов-примесей (Sc, Ti, V, Ga, Ge, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Pd, РЗЭ и др.). Такие угли стоит рассматривать как нетрадиционный и перспективный сырьевой источник ценных металлов [4].



**Рисунок 1.** Карта полезных ископаемых и инфраструктуры минерально-сырьевого комплекса Чукотского автономного округа.

Авторами был произведен анализ статистических данных по разведанным запасам угля, объемам добычи, а также определена позиция угля в структуре потребления энергетических ресурсов в России. Согласно проведенному исследованию на 2018 год в мировой структуре потребления энергетических ресурсов преобладают нефть (33,6%) и уголь (27,2%). Однако, несмотря на рост потребления нефти и угля, их совокупная доля в структуре энергопотребления устойчиво сокращается в пользу альтернативных энергоносителей (рисунок 2).



Структура потребления энергетических ресурсов в мире (по данным ЦЭН ИНГТ на 2018 год [6]).

На уголь приходится 12,3% суммарного потребления энергоносителей. В соответствии с общемировыми тенденциями доля угля в структуре энергопотребления сокращается (рисунок 3).



Структура потребления энергетических ресурсов в России (по данным ЦЭН ИНГТ на 2018 год [5])

Географически Чукотский автономный округ располагается в регионе распространения криолитозоны, что в свою очередь определяет некоторые особенности освоения месторождений с точки зрения инженерно-геологических условий. Мощность многолетнемерзлых пород зависит от ряда факторов, например, от широтной зональности и высотной поясности территории. На территории округа многолетняя мерзлота имеет преимущественно сплошное распространение, в среднем мощность толщи составляет 300-500 метров. Одними из главных факторов, которые влияют на эффективность открытой разработки полезных ископаемых в сложных инженерно-геологических условиях, являются высокие водопритоки в горные выработки и связанные с этим явления, такие как суффозия, оползни в бортах карьеров, наледеобразование на транспортных путях, повышенная влажность горной массы и ее смерзаемость в зимнее время, деформации бортов, отвалов и транспортных путей при оттаивании многолетнемерзлых пород. [3,7,8].

## Выводы

Была произведена оценка статистической информации по показателям добычи угля за период с 2013 года, на основании которой сформулирован ряд выводов о перспективности разработки угольных объектов в Арктической зоне Чукотского АО.

Увеличение добычи угля в регионе может стать катализатором развития сети промышленных объектов. Районы крайнего севера характеризуются очаговым способом освоения и наличие крупных населенных пунктов и промышленных объектов. [5]. Средние и мелкие объекты вынуждены функционировать в зависимости от привозных топливно-энергетических ресурсов, главным образом от углеводородов, что определяет существенную транспортную составляющую в структуре цены. В тоже время в некоторых случаях потенциально возможна полная или частичная замена привозного

топлива на возобновляемые источники энергии и/или местные топливно-энергетические ресурсы, такие как уголь.

По предварительному анализу данных можно сделать вывод, что в некоторых ситуациях возможна замена привозного топлива на МТТ с учетом территориальной близости мест добычи и потребления местных углей [9]. Следует обратить внимание на структуру стоимости угля с учетом транспортировки и хранения. Из статистических данных следует, что на долю самого угля в структуре его стоимости на месте потребления в наиболее труднодоступных районах приходится от 20 до 50 процентов [2].

Однако для экономически выгодного освоения угольных месторождений в местах потенциального потребления необходимо осуществить работы по повышению актуальности геологической информации и данных по качеству угля. Необходимость проведения дополнительных исследований связана с тем, что сырьевая база угля арктических районов была создана в условиях плановой экономики с более мягкими требованиями к потребительским свойствам угля, другим уровнем цен, другими технологиями освоения. На ранее изученных угольных месторождениях часто не присутствуют данные по новым показателям качества угля, что затрудняет объективную оценку исследуемого твердого топлива с точки зрения его соответствия современным технологиям.

С целью определения реального промышленного и экономического потенциала сырьевой базы Чукотского автономного округа выявления промышленно перспективных для освоения запасов нераспределенного фонда необходимо осуществить геолого-экономическую переоценку [2]. Это позволит оценить реальный угольный потенциал арктической зоны Северо-Востока России, определить порядок, очередность и условия его освоения.

## **Библиография**

1. Актуализированные ГИС-пакеты оперативной геологической информации (ГИС – Атлас «Недра России»): [сайт]. – URL: <http://atlaspacket.vsegei.ru> (дата обращения: 28.06.2020). –Текст. Изображение: электронные.
2. Батугина Н.С., Гаврилов В.Л., Хоютанов Е.А., Федоров В.И. Угольные месторождения арктической зоны Якутии и Чукотки: состояние сырьевой базы и возможности ее освоения // Наука и образование. –2014. – №4. – С. 5-11.
3. Верхотуров А.Г., Размахнина И.Б. Инженерно-геологические проблемы освоения угольных месторождений Забайкальского края // Вестник ЗабГУ. – 2015. – №8. – (123). – С. 4-11.
4. Вялов В.И., Богомоллов А.Х., Наставкин Е.П., Чернышев А.А. Ценные металлы в углях Арктической зоны России // Георесурсы. – 2019. – Т.21. – №2. – С. 53-62.
5. Государственный доклад о состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2018 году / главный редактор Е.А. Киселев–Москва. – 2019. – 426 с.
6. Ежегодный доклад о состоянии и проблемах законодательного обеспечения реализации стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2020 года. О состоянии и проблемах законодательного обеспечения научной деятельности Российской

- Федерации в Антарктике / редакторы Е.В. Денисенко, О.В. Ломакина. – Москва. – 2019. – 523 с.
7. Новоселова Е.Ю., Петров И.В., Новоселов А.Л. Арктический уголь: методические вопросы комплексной оценки рисков // Уголь. – 2020. – №8. – С.88-91.
  8. Пронина Н.В., Макарова Е.Ю., Богомолов А.Х., Митронов Д.В., Кузеванова Е.В. Геология и угленосность Российской Арктики в связи с перспективами развития региона // Георесурсы. – 2019. – Т. 21. – № 2. – С. 42-52.
  9. Ткач С.М., Гаврилов В.Л. Проблемы использования местных углей для энергообеспечения арктических районов Якутии // Современная наука: сборник научных статей. – 2012. – №3 (11). – С. 73-79.

*Совершенствование модели Лихтенеккера для определения теплопроводности пород-коллекторов*

*Пичугин З.А. (Сколковский институт науки и технологий, zakhar.pichugin@skoltech.ru), Калинина М.С. (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), kalininamaryia@gmail.com), Рудаковская С.Ю. (ООО "Арктик-ГЕРС", ru@arctic-gers.ru), Савельев Е.Г. (Сколковский институт науки и технологий, e.savelev@skoltech.ru)*

**Аннотация**

В настоящей работе на примере коллекции карбонатного коллектора показано, что широко используемая модель Лихтенеккера не способна достоверно предсказывать теплопроводность горных пород. Систематическое расхождение теоретических и экспериментальных значений наблюдалось в высушенном, водо- и керосинонасыщенном состоянии образцов. Для повышения качества предсказаний модели предложено использование поправочного коэффициента Асаада. Произведены расчёты коэффициентов, оценён диапазон их значений и обнаружена зависимость величины параметра от поронасыщающего флюида. Установлено, что использование поправочных коэффициентов позволяет повысить степень согласованности теоретически рассчитанных и экспериментальных данных.

**Ключевые слова**

Теплопроводность, модель Лихтенеккера, геометрическое среднее, метод оптического сканирования, коэффициент Асаада.

**Теория**

Данные о теплопроводности, являющейся базовым физическим параметром, необходимы для моделирования тепловых методов увеличения нефтеотдачи, осадочных бассейнов и углеводородных систем, извлечения геотермальной энергии, а также в гражданском и подземном строительстве (Роров, 2016). Несмотря на наличие инструментов, позволяющих быстро и качественно измерять теплопроводность образцов горных пород при атмосферных условиях (Роров, 2016), расчет эффективных значений теплопроводности с учетом их пространственно-временных вариаций является актуальной задачей.

Одной из наиболее популярных формул для расчета эффективной теплопроводности насыщенной флюидом породы является формула средневзвешенного геометрического среднего или формула Лихтенеккера (Lichtenecker, 1926):

$$\lambda = \lambda_m^{1-\phi} \lambda_f^\phi \quad (1)$$

где  $\lambda$  – эффективная теплопроводность, Вт/(м·К);  $\lambda_m$  и  $\lambda_f$  – теплопроводности минеральной матрицы и порового флюида, Вт/(м·К);  $\phi$  – пористость.

На сегодняшний день в научной среде сложилось устойчивое представление о высокой степени надёжности модели Лихтенеккера для пород-коллекторов. Тем не менее, существуют работы (Попов, 2017), показывающие, что с увеличением пористости и контрастности между  $\lambda_m$  и  $\lambda_f$  расхождение между Лихтенеккером и экспериментом

увеличивается. К недостаткам модели Лихтенеккера также можно отнести отсутствие учёта структурно-текстурных особенностей породы.

Одним из способов совершенствования модели Лихтенеккера является введение в модель (1) корректирующего параметра  $f$ , описанного Асаадом в его диссертации (Assad, 1955). Сам Асаад полагал, что параметр  $f$  (называемый иногда коэффициентом Асаада) определяется исключительно минеральным составом скелета породы.

$$\lambda = \lambda_m^{1-f} \lambda_f^f \quad (2)$$

Для исследования эффективности модели Лихтенеккера была выбрана коллекция, состоящая из 33 образцов карбонатных пород. Измерения теплопроводности проводились на установке оптического сканирования, пористость измерялась при помощи весового метода Преображенского и гелиевого порозиметра, после чего усреднялась. Образцы последовательно насыщались воздухом, водой и керосином, выступавшим в качестве модели нефти. Теплопроводность флюидов полагалась равной:  $\lambda_{\text{воздух}} = 0,025$  Вт/(м·К),  $\lambda_{\text{вода}} = 0,60$  Вт/(м·К),  $\lambda_{\text{керосин}} = 0,13$  Вт/(м·К).

Для определения теплопроводности матрицы на поле корреляции «Теплопроводность-пористость» были построены уравнения регрессии (рис. 1). Теплопроводность минеральной матрицы полагалась равной величине кривой регрессии в точке, соответствующей нулевой пористости. Несмотря на то, что в действительности теплопроводность матрицы не является постоянной величиной, литологическая однородность коллекции позволила в первом приближении считать величину  $\lambda_m$  постоянной для каждого состояния насыщения.

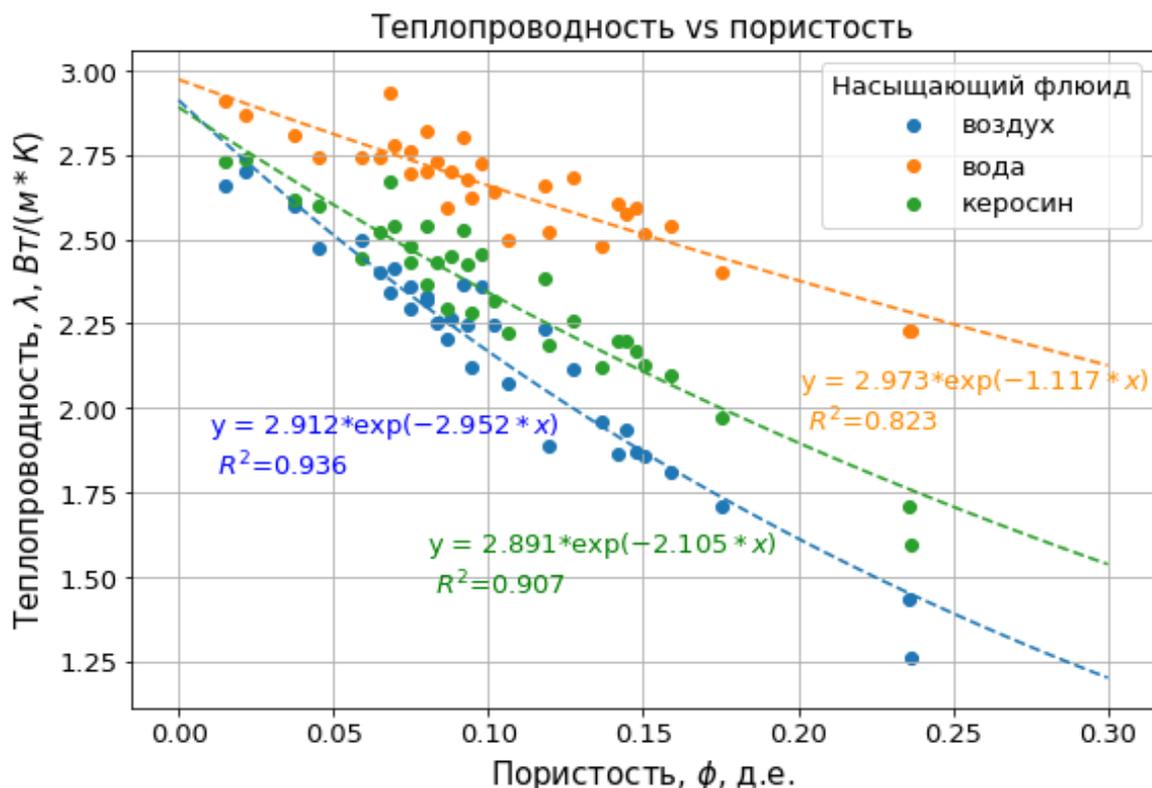
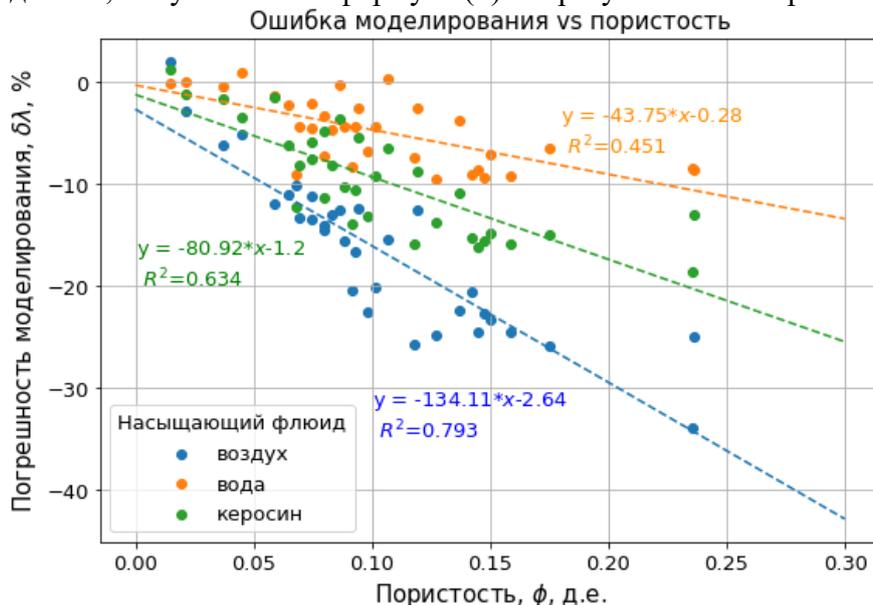


Рисунок 1. Поле корреляции «Теплопроводность-пористость».

Погрешность моделирования при помощи модели Лихтенеккера определялась по формуле (3):

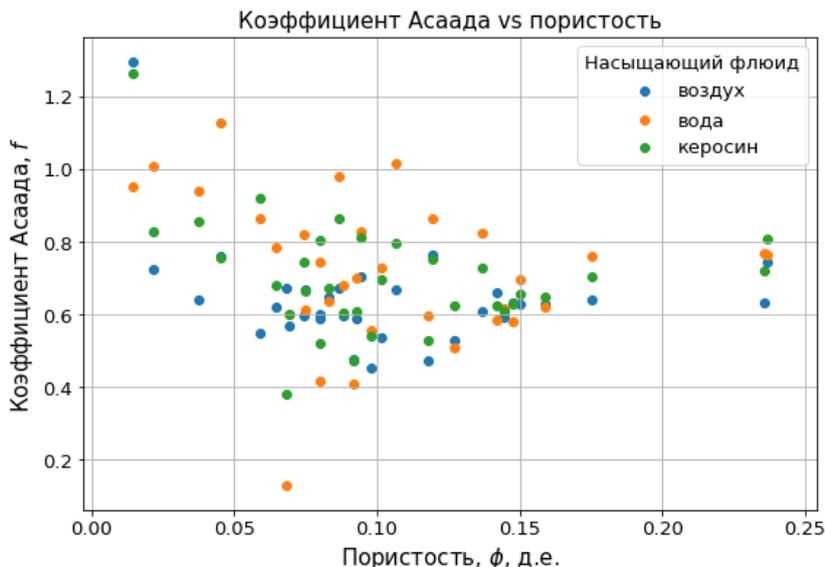
$$\delta\lambda = \frac{\lambda - \lambda_{exp}}{\lambda_{exp}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

$\delta\lambda$  – погрешность моделирования при помощи модели Лихтенеккера, %;  $\lambda$  и  $\lambda_{exp}$  – теплопроводности, полученные по формуле (1) и в результате эксперимента, Вт/(м·К).



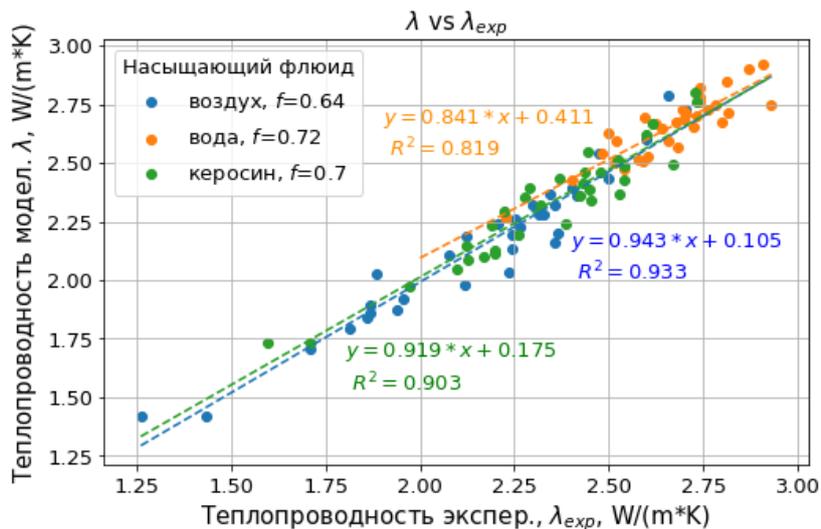
**Рисунок 2.** Поле корреляции «Ошибка моделирования-пористость».

Для повышения качества оценки теплопроводности для каждого состояния насыщения были рассчитаны поправочные коэффициенты  $f$ , выраженные из формулы (2). Из рис. 3 видно, что значения коэффициентов существенно отличаются в рамках коллекции, варьируясь от 0.13 до 1.30, а поронасыщающий флюид оказывает влияние на величину коэффициента Асаада, однако зависимость между величинами  $\lambda_f$  и  $f$  не прослеживается.



**Рисунок 3.** Поле корреляции «Коэффициент Асаада - пористость».

На рис. 4 представлены поля корреляции между теоретическими оценками теплопроводности модели Лихтенеккера-Асаада и экспериментальными данными. В качестве значений коэффициента  $f$  для воздуха, воды и керосина были взяты средние значения параметров по каждому флюиду: 0,64, 0,72 и 0,70 соответственно.



**Рисунок 4.** Поле корреляции между экспериментальными данными о теплопроводности и результатами оценки по модели Литенеккера-Асаада.

### Выводы

В настоящей работе на коллекции карбонатных пород показано, что модель Лихтенеккера не может быть использована для достоверного прогнозирования теплопроводности. В качестве улучшения модели было предложено использовать поправочный коэффициент  $f$ , также называемый коэффициентом Асаада. Исходя из расчётов параметра и последующего анализа результатов были получены следующие выводы:

- 1) Значения коэффициента  $f$  могут изменяться в широком диапазоне даже для однородной коллекции;
- 2) Тип флюида существенным образом влияет на величину поправочного коэффициента. Таким образом, параметр  $f$  определяется не только минеральным составом скелета породы, как изначально предполагалось Асаадом (Assad, 1955);
- 3) Использование единого коэффициента  $f$  для каждого флюида позволяет с высокой степенью надёжности прогнозировать теплопроводность.

### Библиография

1. Попов Е.Ю. Измерения тепловых свойств пород на стандартном керне как необходимый этап теплофизических исследований месторождений углеводородов / Ромушкевич Р.А., Попов Ю.А. // Известия высших учебных заведений. - 2017. -№2, с. 56-69.
2. Asaad Y., Ph.D. thesis, University of California—Berkeley, Berkeley, CA, 1955
3. Lichtenecker K. (1926) Die Dielektrizitätskonstante natürlicher und künstlicher Mischkörper, Phys. Zeitschr., 27, 115–158.
4. Popov, Y., Beardsmore, G., Clauser, C. et al. ISRM Suggested Methods for Determining Thermal Properties of Rocks from Laboratory Tests at Atmospheric Pressure. Rock Mech Rock Eng 49, 4179–4207 (2016). <https://doi.org/10.1007/s00603-016-1070-5>

***Исследование формирования и эксплуатации буферных и поверхностных складов при автомобильно-конвейерном транспорте***

***Равшанов А.Ф.\* (Навоийский ГМК, Узбекистан, otash-fire@mail.ru), Зарипов О.Г. (Навоийский ГМК, Узбекистан, OI.Jabborov@ngmk.uz), Куролов А.А. (Навоийский ГМК, Узбекистан, a\_kurolov@ngmk.uz)***

**Аннотация**

В данном тезисе рассмотрены вопросы увеличения производительности автомобильно-конвейерного транспорта (АКТ) на карьере Мурунтау (Республика Узбекистан) за счет применения буферных и поверхностных складов.

**Ключевые слова**

АКТ, объемы складов, ЦПТ-руда, буферный склад, поточное звено, положения.

**Теория**

Циклично-поточная технология (ЦПТ), является одним из основных направлений технического перевооружения предприятий и интенсификации горных работ при разработке полезных ископаемых открытым способом. Комплексы ЦПТ применяются на карьерах со сложными горнотехническими условиями разработки. Для этих карьеров характерны большие объемы горной массы, высокая плотность разрабатываемых пород, значительная глубина карьера по замкнутому контуру.

Одним из вышеприведенных карьеров является карьер Мурунтау, разрабатывающий уникальное по своим масштабам одноименное золоторудное месторождение. Годовой объем разрабатываемой горной массы на руднике Мурунтау составляет более 100 млн. м<sup>3</sup>. Глубина карьера составляет более 600 м. Имеются предпроектные и проектные проработки эксплуатации карьера до глубины 1 000 м, согласно которым карьер расширится и в плане и в глубину.

С 1984 года на карьере эксплуатируются комплексы ЦПТ традиционного исполнения, а с 2011 года на руднике был запущен в эксплуатацию ЦПТ-руда в составе с крутонаклонным конвейером, высотой подъема 270 м (КНК-270).

Опыт проектирования и эксплуатации комплекса на руднике Мурунтау свидетельствует о том, что своевременное внедрение ЦПТ в условиях постоянно возрастающей глубины открытых горных работ позволяет сократить затраты на транспортирование горной массы на 15-20 %, снизить себестоимость добычи полезного ископаемого на 10-15 %, повысить производительность труда на основных технологических процессах в 1,2-1,5 раза.

В то же время практика эксплуатации комплекса ЦПТ на карьере показывает, что заложенный в проекте принцип организации работ, предусматривающий согласованное транспортирование руды и породы из карьера сборочным и поточным звеньями комплекса затруднителен. Причиной тому является в основном отсутствие как буферных емкостей, между циклическим и поточным, так и поверхностных складов между поточным и циклическим звеньями.

На основании анализа поступления горной массы в буферный склад в практике работы карьера установлено, что склад должен иметь объем порядка 100-200 тыс.м<sup>3</sup>. В многолетней практике работы карьера Мурунтау разработаны варианты размещения буферных складов, технологические схемы отсыпки и отгрузки горной массы как для ЦПТ с традиционными конвейерами так и для ЦПТ-руда с КНК-270. Применение временных буферных складов ЦПТ при разработке месторождения Мурунтау позволило увеличить производительность конвейерного комплекса на 10-12 %.

Изначально была запланирована максимальная интенсификация горных работ по Юго-восточному борту природно-технологическая зона №4 (ПТЗ-4) на верхних и средних рабочих горизонтах, для понижения уровня производства работ и ускоренного создания транспортной развязки на конвейерный комплекс КНК-270, основным поставщиком горной массы разных сортов на КНК-270 являются затухающая ПТЗ-3 и развитие ПТЗ-5. Потом развитие горных работ продолжался в направлении создания транспортной развязки Юго-восточного борта и комплекса КНК-270 с привлечением технологического оборудования на разгрузку штабеля. Была привлечена единица 10 кубового электрического экскаватора и 2-3 автосамосвала на отгрузку со штабеля руды минерализованной горной массы и породы.

В тоже время было определено одним из сдерживающих факторов повышения производительности ЦПТ-руда с КНК-270 является небольшая приемистая емкость поверхностных складов, откуда руда железнодорожными составами доставляется на перерабатывающие мощности. Имеющийся объем поверхностного склада ЦПТ-руда около 50 тыс.м<sup>3</sup> быстро заполнялся.

Вследствие чего назрела актуальная задача изыскания путей технологических возможностей повышения эффективности технологического процесса транспортировки разносортной горной массы КНК путем формирования на дневной поверхности складов, отвалов.

После проведенных исследований и анализа предстоящей работы карьера Мурунтау на ближайшее 5 лет было принято решение о строительстве дополнительной линии поверхностных конвейерных комплексов со скальным перегружателем (ПС-2000/50) собственного изготовления вместо отвалообразователя (рисунок 1), что позволило высвободить постоянно задействованную ЭКГ-10 и автомобильный транспорт, а также увеличить объем мелкодробленой руды на ГМЗ-2.

В составную часть дополнительной линии входят следующие основные технологические узлы:

1. Передаточный конвейер от складского конвейера КС-3500 до отвального конвейера ОК-1;
2. Отвальный конвейера ОК-1;
3. Скальный перегружатель ПС-2000/50.
3. Сектора XX и XXI, формируемые с применением ПС-2000/50.

Согласно проекту для отгрузки руды, на ГМЗ-2 железнодорожным составом наряду с штабелем КНК-270 формируемый ПШС-3500 были предусмотрены автомобильные рудные сектора XX и XXI формируемые автосамосвалами. По мере углубления горных работ транспортирование руды из глубины карьера до вышеуказанного сектора стали нецелесообразными, а производительность КНК-270 ограничивалась вместимостью штабеля.



**Рисунок 1.** Работа комплекса ЦПТ-руда с КНК с дополнительной конвейерной линией на поверхностный склад.

Формирование дополнительных конвейерных рудных секторов XX и XXI дают возможность обеспечения максимальной загруженности всей поточной линии за счет увеличения емкости перегрузочного узла в два раза, т.е. с 50 тыс.м<sup>3</sup> до 100 тыс.м<sup>3</sup>. Увеличение производительности КНК-270 по руде позволило резко сокращать расстояние транспортирования руды из глубины карьера на поверхностный склад, за счет чего уменьшилось количество задействованных в рудном потоке автосамосвалов.

## Выводы

Формирование дополнительных конвейерных рудных секторов XX и XXI путем строительство поверхностных конвейерных комплексов и скального перегрузателя ПС-2000/50 дало возможность увеличить производительность комплекса ЦПТ-руда с КНК-270 и оптимизировать работу автосамосвалов в рудном потоке.

## Библиография

1. Руднев С. В., Равшанов А. Ф., Силкин А. А., Селезнев А. В., Уржумов А. Г. Современные научно-технические и проектные решения по развитию Зарафшанского золотоизвлекательного комплекса. Горный журнал. 2017. №1. Спецвыпуск.
2. Кадыров А. А., Санакулов К. С., Бибики И. П. Концептуальные основы стратегии инновационного развития Кызылкумского региона. — Ташкент: Издательство «Узбекистан», 2013. — 400 с.
3. Камнев Е. Н., Селезнев А. В., Рубцов С. К., Силкин А. А. Вклад института «ВНИПИ-промтехнологии» в разработку и оптимизацию технологических процессов Навоийского ГМК // Горный журнал. 2011. № 8. С. 38–43.
4. Мальгин О.Н., Сытенков В.Н., Шеметов П.А. Циклично-поточная технология в глубоких карьерах. Ташкент. «ФАН». 2004. 337 с.

**Формирование разносортных складов для повышения эффективности работы круто-наклонного конвейера в карьере Мурунтау**  
**Равшанов А.Ф.\* (Навоийский ГМК, Узбекистан, otash-fire@mail.ru), Куролов А.А. (Навоийский ГМК, Узбекистан, a\_kurolov@ngmk.uz), Зарипов О.Г. (Навоийский ГМК, Узбекистан, OI.Jabborov@ngmk.uz)**

**Аннотация**

В данном тезисе рассмотрены технологические особенности использования КНК-270 на карьере Мурунтау (Республика Узбекистан).

**Ключевые слова**

КНК, природно-технологическая зона, грузопоток, штабель.

**Теория**

В течении 2011 года производились пусконаладочные работы по запуску конвейерного комплекса крутонаклонного конвейера КНК-270 и объектов инфраструктуры в целом - ППК-3 сектора XX, XXI, штабеля, ПШС. Параллельно с этим в 2011 году, из-за затухания горных работ в природно-технологической зоне №3 (ПТЗ-3) карьера, начаты интенсивные работы по запуску транспортной связи (капитальной траншеи) с Северным бортом карьера.

В 2012 году была запланирована максимальная интенсификация горных работ по Юго-Восточному борту ПТЗ-4 на верхних и средних рабочих горизонтах, для понижения уровня производства работ и ускоренного создания транспортной развязки на конвейерный комплекс КНК-270, основным поставщиком горной массы разных сортов на КНК-270 являются затухающая ПТЗ-3 и развитие ПТЗ-5. В 2013 году развитие горных работ продолжается в направлении создания транспортной развязки Юго-восточного борта и комплекса КНК-270 с привлечением технологического оборудования на разгрузку штабеля.

В период с 2011 по 2013 гг. включительно основным лимитирующим фактором повышения эффективности работы КНК явилось как показывает практика ограниченность приема разносортной горной массы на штабель КНК емкость которого составляет 90 тыс. т. В вышеуказанный период объем транспортировки разносортной горной массы через КНК составил в пределах 10 614 тыс. м<sup>3</sup> или ежегодно в среднем по 3 538 тыс.м<sup>3</sup>.

В 2014 году закончен первый этап строительства конвейерных линий на отвальном поле комплекса КНК-270, что позволило увеличить грузопоток на КНК с укладкой с разносортной горной массы в отвалы на склады северо-восточного отвального поля в зависимости от формируемого грузопотока в определенный период времени. Разработана новая рациональная схема транспортировки грузопотока по КНК, для доставки породы и минмассы через отвалообразователь ОШС-4000/125 с последующим складированием в отвальное поле КНК, а штабель КНК был переориентирован на прием только руды с последующей её отгрузкой в ж/д составы на ГМЗ-2 (рис. 1).



**Изменение сменной производительности экскаваторно-автомобильного комплекса при интенсивном углублении карьера**

**Ражабов Э.Х.\* (Навоийский ГМК, Узбекистан, otash-fire@mail.ru), Куролов А.А. (Навоийский ГМК, Узбекистан, a\_kurolov@ngmk.uz), Жабборов О.И. (Навоийский ГМК, Узбекистан, OI.Jabborov@ngmk.uz)**

**Аннотация**

В тезисе рассмотрено изменение сменной производительности экскаваторно-автомобильного комплекса по мере углубления горных работ.

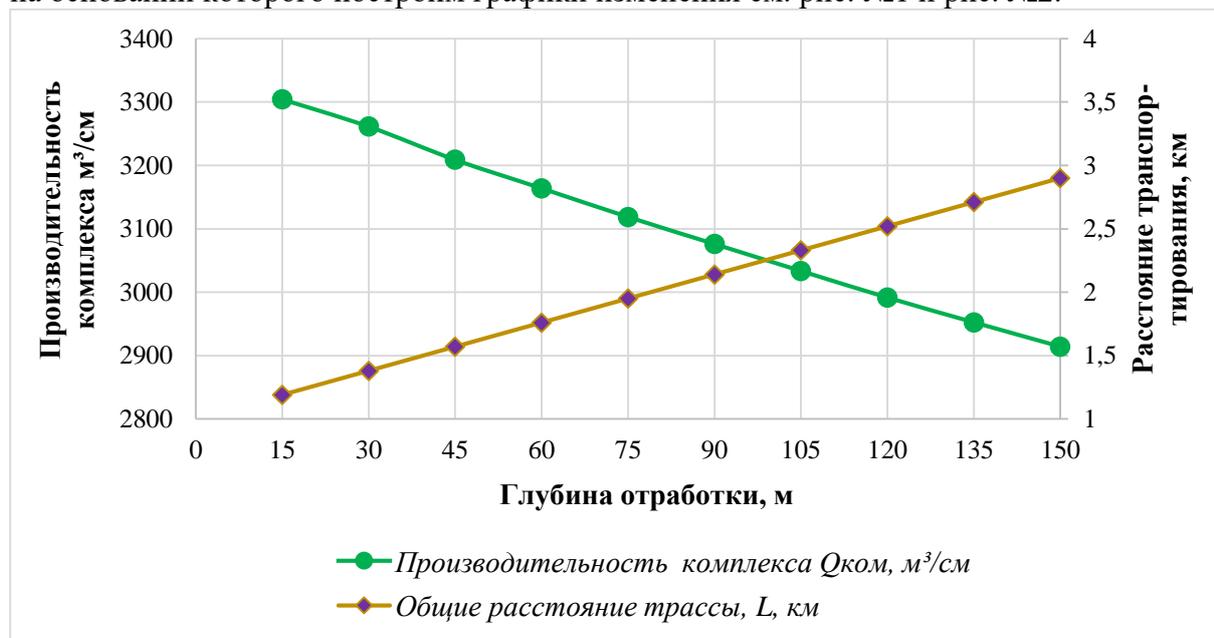
**Ключевые слова**

Экскаваторно-автомобильный комплекс, производительность, высота подъема.

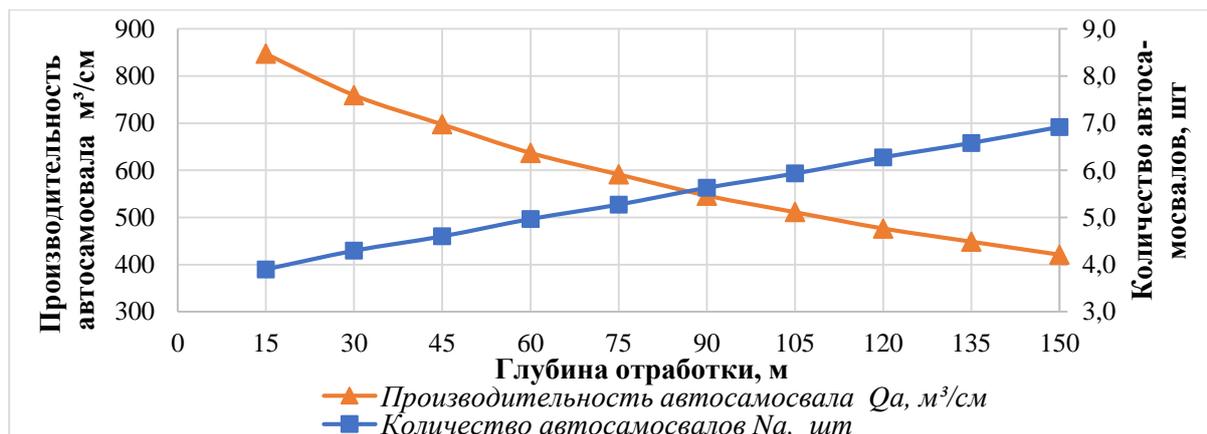
**Теория**

Моделирование работы экскаваторно-автомобильного комплекса (расчет производительности комплекса, определение числа автосамосвалов) производилось по методике, разработанной проф. Медниковым Н.Н. [2].

Отработка осуществляется по последовательной схеме: забой → экскаватор → карьерный автосамосвал → отвал. Экскаватор представлен моделью ЭКГ-10 с вместимостью ковша 10 м<sup>3</sup>, в качестве базового транспорта выбран карьерный автосамосвал грузоподъемностью 90 т. Имея исходные данные для отработки карьера глубиной 150 м, выполним расчеты и получим результаты по горизонтам. Системно обработав полученные данные при коэффициенте загрузки экскаватора  $k_{заг}=0,8$  из построенных зависимостей найдем сменную производительность комплекса ( $Q_{ком}$ ), количество автосамосвалов ( $N_a$ ), сменную производительность автосамосвала ( $Q_{авт}$ ) и на основании которого построим графики изменения см. рис. №1 и рис. №2.



**Рисунок 1.** Зависимость изменения сменной производительности ЭАК и расстояния транспортирования от глубины отработки



**Рисунок 2.** Зависимость изменения производительности и количество автосамосвалов от глубины отработки

Как показывает рисунок 1. с увеличением высоты подъема увеличивается расстояние транспортирования горной массы, и соответственно сменная производительность экскаваторно-автомобильного комплекса начинает снижаться несмотря на увеличение количества автосамосвалов в ЭАК.

На рисунке 2 сформировано зависимость изменения сменной производительности и количество автосамосвала, при увеличении высоты подъема сменная производительность автосамосвала начинает уменьшаться и при этом увеличивается количество автосамосвалов.

Если при глубине карьера 30 м производительность ЭАК составляет около 3 200 м<sup>3</sup>/смену, то при глубине 120 м составляет около 3000 м<sup>3</sup>/смену. При этом при глубине карьера 30 м для обеспечения коэффициента загрузки на уровне 80% потребуются 4,29 ед. Автосамосвалов со средней производительностью 759 м<sup>3</sup>/смену, а при глубине 120 м нужны 6,28 ед. автосамосвалов со средней производительностью 477 м<sup>3</sup>/смену.

## Выводы

Как показывает полученные результаты расчетов при применении ЭАК для отработки месторождений с увеличением высоты подъема горной массы автотранспортом сменная производительность комплекса снижается, а количество автосамосвалов увеличивается в свою очередь негативно сказывается на удельных затратах на добычу горной массы.

## Библиография

1. Ржевский В.В. Процессы открытых горных работ. – М.: Недра, 1978.
2. Медников Н.Н. Математические методы и модели в расчетах на ЭВМ. Учебное пособие. – М.: МГГУ, 1996. – С. 47 – 128.
3. Кулешов А.А. Мощные экскаваторно-автомобильные комплексы карьеров. – М.: Недра, 1980-317 с.
4. Куролов А.А. Формирование транспортной схемы глубоких карьеров технологическими модулями при применении мобильных дробильно-перегрузочных комплексов. Москва – 2007.

***Основные влияющие факторы на повышение эффективности  
экскаваторно-автомобильного комплекса  
Ражабов Э.Х.\* (Навоийский ГМК, Узбекистан, EN.Rajabov@ngmk.uz)***

**Аннотация**

В данном тезисе рассматриваются влияющие факторы на повышения эффективности экскаваторно-автомобильного комплекса.

**Ключевые слова:**

факторы, эффективность, экскаваторно-автомобильный комплекс.

**Теория:**

Экскаваторно-автомобильный комплекс получил широкое распространение на открытых разработках горнодобывающих отраслей во всем мире. Применение автотранспорта в горном деле подтверждает его высокие технико-экономические показатели при использовании в сложных условиях: глубокое или сложное залегание полезных ископаемых, разработка месторождений с ограниченными запасами или малым сроком эксплуатации.

Анализ особенностей функционирования предприятий горнодобывающей промышленности показал, что существуют проблемы эффективного использования экскаваторно-автомобильных комплексов, в частности из-за не рационального распределения самосвалов между экскаваторами.

Организация движения автотранспорта в карьерах осуществляется по замкнутому циклу, когда экскаватором закрепляется группа различных типов автосамосвалов.

В настоящее время на подавляющем большинстве предприятий планирование работы экскаваторно-автомобильных комплексов ведется без учета существенных различий в технико-эксплуатационных показателях работы автосамосвалов и экскаваторов, взаимодействующих как единый экскаваторно-автомобильный комплекс.

Организация ритмичной работы экскаваторно-автомобильный комплекс предполагает обеспечение равномерной загруженности экскаватора, отсутствие задержек в процессе маневрирования автомобилей при въезде на погрузочные площадки и съезде с них, стабильную продолжительность погрузки.

Анализ процессов открытых горных работ дает понимание того, что несогласованность в работе выемочно-погрузочных и транспортных машин определяет высокий уровень эксплуатационных затрат на разработку и снижение производительности горнотранспортного оборудования.

Наибольшее влияние на эффективность показатели экскаваторно-автомобильного комплекса оказывают:

- недостаточное использование производственной мощности выемочно-погрузочных машин;

- очереди при погрузке автосамосвалов в забое и разгрузке на отвал;
- маневры и остановки при движении автосамосвалов по карьерным дорогам с ненормативной шириной;
- снижение скорости движения автосамосвалов и увеличение времени маневров из-за неудовлетворительного состояния карьерных автодорог.

## **Выводы**

Одним из способов повышения эффективности работы экскаваторно-автомобильных комплексов, является использование рационального формирования при распределении самосвалов между экскаваторами.

Рационального формирования - это процесс распределение самосвалов в начале смены по группам маршрутов, а также перераспределение их в течение смены в случае изменений ситуации в карьере (изменение дорожных условий, поломка экскаватора, изменение требований к качеству руды, подаваемой на фабрику, равномерность выполнения плана по экскаваторам и т.д.).

Для рационального формирования могут быть служить данные поступающие в режиме реального времени из современных систем диспетчеризации горнотранспортного оборудования о среднем времени погрузки, разгрузки, движения и оборота по каждому из направлений перевозок. Использование реальных статистических данных о работе экскаваторно-автомобильных комплексов позволяет наиболее достоверно спрогнозировать работу карьера в конкретных условиях и наиболее рационально распределить самосвалы между экскаваторами.

Исследована и разработана совершенствование методов планирования горных работ и производственных процессов является актуальной задачей, решение которой позволит повысить эффективность использования дорогостоящего горнотранспортного оборудования.

Основываясь на исследование и анализах теоретических источников можно утверждать, что рациональное соотношение, являясь величиной непостоянной, зависит как от технических характеристик погрузочного оборудования (массы экскаватора, его геометрических параметров, длительности цикла экскавации, вместимости ковша), так и от горнотехнических условий работы комплекса (физико-механических свойств горной массы, параметров забоя экскаватора, дальности транспортирования, сложности трасс и параметров автодорог, типа и состояния дорожного покрытия). Горнотехнические условия специфичны для каждого карьера и носят вероятный характер, а продолжительность цикла экскаватора определяет время погрузки автосамосвала, которое, в свою очередь, влияет на количество транспортных средств, занятых под одним экскаватором.

## **Библиография**

1. Васильев М.В. Транспорт глубоких карьеров. – М.: Недра, 1983. – 295 с.
2. Ржевский В.В. Процессы открытых горных работ. – М.: Недра, 1978.

**Анализ технологий формирования штабелей минерального сырья для кучного  
выщелачивания**

**Салахов И. Н.\* (МГРИ, salahovin@mgri.ru)**

**Аннотация**

Кучное выщелачивание (КВ) является высокорентабельным методом переработки бедного минерального сырья, а также забалансовых руд и хвостов обогащения. Одним из важных факторов, который влияет на эффективность процесса КВ является формирование штабеля, так как от его укладки зависят фильтрационные свойства и качество полученной продукции.

В статье рассмотрены различные способы укладки тела штабеля. Проведен их сравнительный анализ. Показано, что намыв штабеля гидротранспортированием сгущённой пульпы является высокоэффективным методом его формирования, при котором сокращается время процесса выщелачивания и повышается степень извлечения полезных компонентов.

**Ключевые слова**

Кучное выщелачивание, гидротранспортирование, штабель, пульпоприготовление, высоконасыщенная гидросмесь.

**Технологические аспекты**

Опыт использования способа кучного выщелачивания (КВ) в нашей стране и за рубежом показал высокую рентабельность, требующий минимальных затрат и достаточно простого оборудования, особенно при переработке раздробленных забалансовых руд и отвалов бедного минерального сырья, а также хвостов обогатительных фабрик. В настоящее время методом КВ перерабатывается минеральное сырьё с относительно низким содержанием золота 0,65 г/т. При этом извлечение составляет: золота ~75% и серебра 50-60%. Это считается вполне приемлемым для переработки бедного сырья при годовой производительности от 120 тыс. т до 2 млн т руды.

Независимо от специфических особенностей минерального сырья, процесс кучного выщелачивания включает следующие технологические операции [3]:

- добыча минерального сырья (рудник или карьер);
- рудоподготовка, включая агломерацию;
- сооружение площадки и отсыпка штабеля;
- орошение штабеля выщелачивающими растворами;
- дренирование и сбор продуктивных растворов;
- извлечение ценных компонентов из продуктивных растворов, включая получение готовой продукции;

- хранилище маточных растворов.

Важным фактором для повышения эффективности процесса КВ является совершенствование технологии сооружения площадки и отсыпки штабеля. Основания площадки для закладки штабеля должны обеспечивать хорошую гидроизоляцию и надежный фундамент во избежание возможных просадок сформированных штабелей и утечек продуктивных растворов, а также загрязнения ими гидрографической сети. В качестве изоляции используется синтетическая пленка, на которую укладывают слой дробленой руды, высотой 0,3-0,5 м. Он поддерживает остальные верхние слои заштабелированной горной массы. Выщелачиваемый раствор, просачиваясь через рудный штабель, должен оказывать растворяющее действие и способствовать его проникновению к поверхности частиц ценных компонентов.

Сооружение штабелей различаются в зависимости от типа минерального сырья следующим образом:

- штабель из дробленной несортированной руды;
- штабель из агломерированного рудного материала;
- штабель из агломерированных шламов.

Структура насыпного тела штабеля зависит от способа отсыпки штабелируемого материала:

- самосвалами с бульдозерами и скреперами;
- конвейерами;
- гидротранспортными средствами, метод, предложенный сотрудниками кафедры Геотехнологических способов и физических процессов горного производства (МГРИ), патент № RU 2 095 562 C1 [2].

При формировании штабеля автосамосвалами, обычно используются несколько методов отсыпки, которые зависят от типа руды. Так, когда руда не образует большого количества рудной мелочи, сооружают оконтуривающую рампу. При этом для возведения последующих слоев предыдущий выравнивают бульдозером, а в случае переуплотнения горной массы, производят рыхление взрывным способом через неглубокие скважины [4].

Для укладки агломерированной руды, которая предрасположена к разрушению, формируют отдельные кучи высотой до 2 метров, которые частично перекрывают друг друга и характеризуются серией холмов и впадин, и в них подают выщелачивающие растворы. После процесса выщелачивания данный слой выравнивают и разрыхляют, для укладки последующего. Наилучшее извлечение ценных компонентов достигается, если каждый слой выщелочен почти до конца перед отсыпкой следующего.

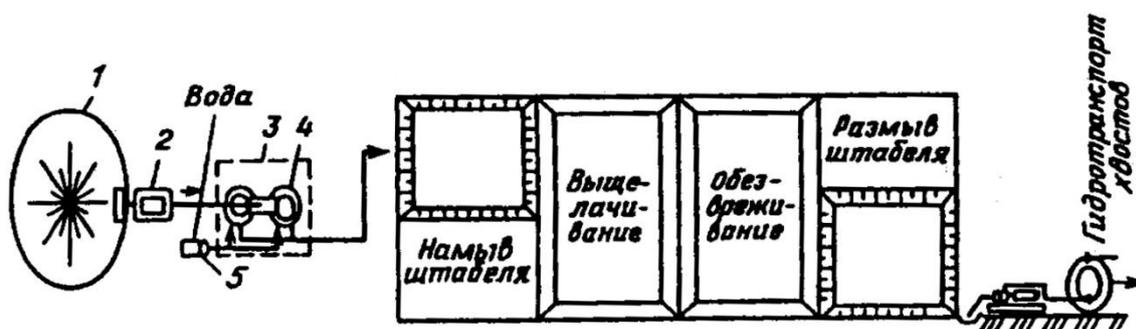
В случае, если руда разрушается или уплотняется (особенно в придонном слое) в результате воздействия бульдозера при выравнивании поверхности, существует опасность снижения фильтрации, и, как следствие, уменьшение извлечения выщелачиваемого компонента. При возникновении таких проблем приходится отказываться от выравнивания поверхности штабелей перед отсыпкой следующего слоя.

В большинстве случаев максимальное извлечение достигается, когда каждый слой руды будет максимально выщелочен почти до конца перед отсыпкой последующего слоя.

Технология сооружения штабелей конвейером обычно используется для агломерированных руд и хвостов обогащения, так как снижает механическое воздействие на массив. На главный конвейер подается руда, откуда она поступает к укладчику (стакеру) через ряд промежуточных конвейеров. Изначально он укладывает два штабеля, которые имеют форму конуса, которые затем расширяет до их соединения. Далее зигзагообразными перемещениями, конвейер наращивает штабель до полного заполнения подготовленной площадки (основания). Высота полученного слоя обычно составляет 6 м, при этом верхнее основание имеет практически ровную поверхность.

К недостаткам формирования штабелей сухой техникой методом отсыпки можно отнести большое количество землеройных механизмов на транспортно-отвальных работах, многоэтапность процесса, а также его невысокая эффективность и большое количество времени, необходимого для извлечения металла из руды, так как растворы проходят через горную массу под действием сил гравитации. К тому же имеется большая вероятность зашламливания или переуплотнения и кольматации штабеля, что приводит к снижению или полному отсутствию фильтрации, что резко снижает степень извлечения ценных компонентов.

Предлагаемая технология укладки (намыва) штабеля кучного выщелачивания средствами гидротранспортирования (рис. 1) производится загрузочными аппаратами или грунтонасосами, формирующими сгущенную гидросмесь с объемной концентрацией 35-40%. При этом в качестве транспортирующей жидкости можно использовать не только воду, но и выщелачивающие растворы, что повышает эффективность извлечения ценных компонентов, за счет полного контакта реагента с твердым материалом, когда удается ликвидировать лимитирующие пленки внешней диффузии и интенсифицировать процессы внутренней диффузии в порах крупнодробленых рудных материалов.



**Рисунок 1.** Формирование штабеля методом гидронамыва. 1 – сырье; погрузчик с конвейером для загрузки; 3 – загрузочный бункер; 4 – гидротранспортный аппарат вихревого пульпоприготовления; 5 – насос для воды или раствора реагента.

Намыв штабеля может производиться по технологическим схемам, используемым при гидрототвалообразовании на открытых горных работах, эстакадным, либо безэстакадным методом с двухсторонним способом. Помимо формирования намывного массива штабеля, можно также формировать основание для него. В этом случае подают минеральные материалы в смеси со специальными кольматирующими добавками,

которые обеспечивают быстрое твердение материала [1]. Прочность данного основания не уступает основаниям, которые получены с использованием пленочных мембран.

Намыв штабеля гидротранспортными аппаратами лишен основных недостатков метода отсыпки сухой техникой (слеживаемость, кольматация, снижение фильтрации и проницаемости намывного массива) и, тем самым, увеличивает площади контакта горной массы с раствором реагента. К преимуществам данного метода можно отнести также поточность и механизацию процесса, возможность намывать штабели с заданными характеристиками, например плотность массива и его гранулометрический состав, что также качественно влияет на фильтрационные свойства.

## **Выводы**

Формирование штабеля для кучного выщелачивания методом намыва позволяет управлять этим процессом путем регулирования технологических параметров гидротранспортирования (объемной плотности и расхода гидросмеси), вследствие чего образуется разуплотнённая структура намывного массива, обеспечивающая хорошую фильтрацию и проницаемость раствора реагента в нижележащем слое кучи. В итоге сокращается продолжительность процесса выщелачивания и повышается степень извлечения ценных компонентов.

## **Библиография**

1. Водолазов Л. И., Дробаденко В. П., Лобанов Д. П., Малухин Н. Г. Геотехнология. Кучное выщелачивание бедного минерального сырья. – Учеб. Пособие. М., МГГА 1999, -300 с.
2. Дробаденко В. П., Малухин Н. Г., Скрипченко В. В., Луконина О. А., Мальцев Г. Б., Остроумова И. Д. Способ кучного выщелачивания // Патент на изобретение RU 2095562 С1, 10.11.1997. Заявка № 95121490/03 от 27.12.1995.
3. Минеев Г. Г., Васильев А. А., Никитенко А. Г. Кучное выщелачивание золотосодержащих руд // Вестник ИрГТУ. 2017. №4 (123) сс. 147-156.
4. Яшкин И. А., Овешников Ю. М., Авдеев П. Б. Повышение эффективности технологии кучного выщелачивания золотосодержащих руд // ГИАБ. 2014. №4. сс. 162-169

***Повышение производительности подземного рудника диатомита в западном Алжире***

***Абдессаттар Л.\* (Российский университет дружбы народов, РУДН e-mail: 1042178036@rudn.ru) Ереминко В.А. (Российский университет дружбы народов, РУДН, e-mail: eremenko@rudn.ru) Негурица Д.Л. (Российский государственный геологоразведочный университет, МГРИ, e-mail: neguritsadl@mgri.ru)***

**Аннотация**

Повышение производительности шахт в Алжире стало важной задачей для горнодобывающей промышленности, особенно с учетом колебаний цен на нефть, которая является основным доходом страны. Сейчас остро стоит проблема поддержания стабильности подземных выработок в связи с увеличением годовой производительности в подземных рудниках, в частности, диатомитовой шахты на западе Алжира. В этой статье мы предлагаем заменить метод камерно-столбовой добычи, который в настоящее время используется в шахте, методом добычи длинными столбами, наиболее часто применяющегося на угольных шахтах во всем мире, обосновать параметры геотехнологии, подобрать оборудование, наилучшим образом подходящее для этих горно-геологических условий и производительности горного предприятия.

**Ключевые слова**

диатомит, камерно-столбовая система разработки, разработка длинными столбами, безопасность, увеличение производительности.

**Теория**

Подземная добыча полезных ископаемых в Алжире сталкивается со многими проблемами, но наиболее остро стоит проблема многократного увеличения производительности с достаточным уровнем обеспечения безопасности. Метод добычи длинными столбами и метод камерно-столбовой (Рис.1, Рис.2), который в настоящее время используется на диатомитовых рудниках в Алжире, начался применяться в горнодобывающей отрасли очень давно [1-2]. Этот метод применяется на всех типах месторождений, но в основном осадочного происхождения (например, уголь, калий, соль, железо, диатомит) [3], угол падения которых не превышает 30 °. Камерно-столбовой - идеальный метод для добычи пластовых отложений на больших и малых месторождениях (до нескольких сотен метров) [4].

Столбы шахт - это блоки породы (естественная опора), оставленные на месте между двумя или более добычными выработками. Их функция - обеспечивать опору, чтобы минимизировать перемещение горной массы в зоне воздействия выемки. При выборе размеров столбов мы должны выбрать минимальное количество руды, которое нужно оставить в целиках. Целик должен обеспечивать минимальную опору, необходимую для обеспечения устойчивости, обеспечивая при этом максимально возможную скорость извлечения [5].

В случае диатомитовой шахты для поддержки кровли используются относительно большие целика из-за слабых физико-механических свойств диатомитового рудного тела, так как целики составляют около 40% от общего рудного тела, и это очень большой

процент потерь. На шахте и в управляющей компании ведутся работы над увеличением скорости извлечения минерального пласта, при сохранении безопасности условий добычи, но при применении используемого в настоящее время метода добычи это пока не удается осуществить.

В данной статье предлагается для увеличения годовой производительности рудника и оптимизация извлечения рудного тела, включая извлечение целиков и обеспечение запаса прочности технология разработки длинными очистными забоями, аналогичный используемому в подземных угольных шахтах, вместо метода добычи, используемого сейчас для извлечения тела диатомитовой руды.

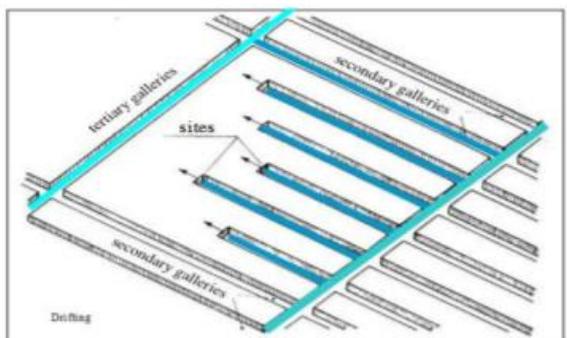


Рисунок. 1. Подготовительные работы [6]

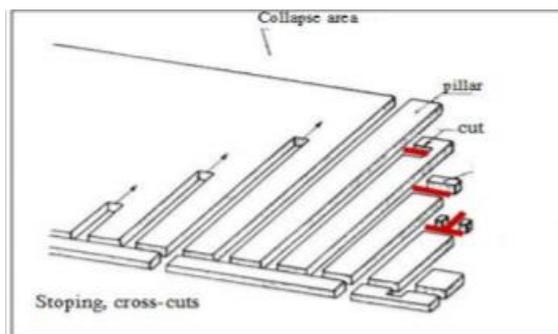


Рисунок. 2. Очистные работы [6]

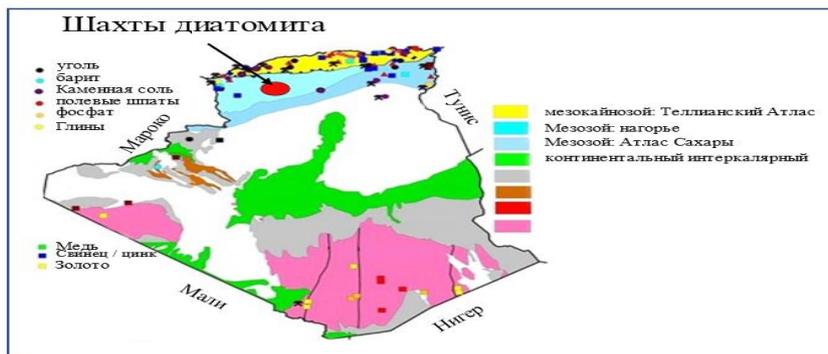
## исследования

## Область

Расположение диатомитового рудника Сиг имеет стратегическое значение. Он находится в 390 км к западу от столицы Алжира, в центре между 4 большими городами: двумя прибрежными городами, Ораном в 54 км и Мостаганем в 70 км и двумя внутренними городами Маскара на 50 км и Сиди-Бель-Аббес на 80 км. Месторождение диатомита расположено в 5 км к юго-востоку от города Сиг, как показано на (Рис. 3). Координаты центра месторождения:  $X = 240600$   $Y = 240500$ .

Его средняя длина составляет 1,5 км, средняя ширина - 1,39 км, а площадь - 209 га. Он разделен на две зоны деятельности: район Ганы на северо-западе и район Морин на юго-востоке. Месторождение диатомита включает образования миоцена, плиоцена и четвертичного периода, которые относятся к геологическому комплексу Бени-Шугран и составляют одну из южных границ бассейна Бас-Челиф.

В 2019 году с помощью программы S-GeMS 2D были подсчитаны запасы диатомита А Ламамра и др. , которые составили около 5,2 миллиона тонн [7].



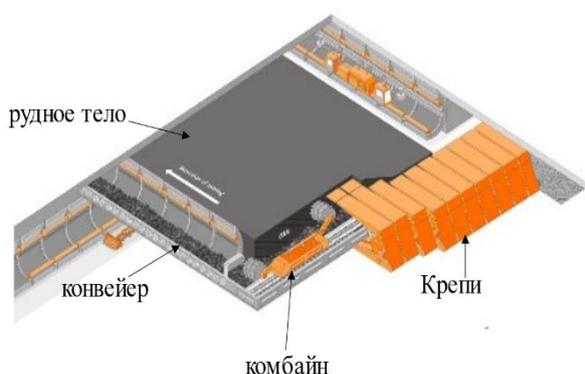
**Рисунок 3.** Карта основных минеральных ресурсов Алжира и расположение диатомитового рудника в западном Алжире.

### Предлагаемый метод отработки длинными забоями

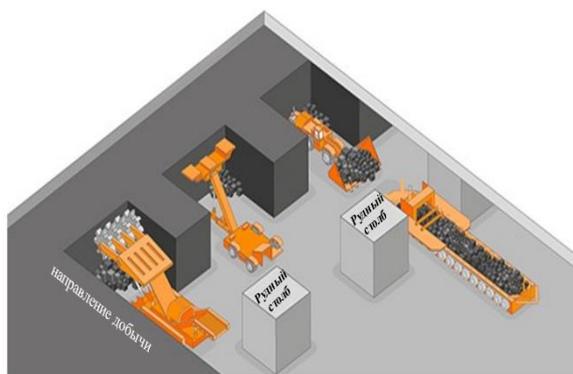
Добыча длинными столбами лучше всего подходит для относительно плоских залежей минералов с выдержанной мощностью и небольшим количеством разрывных нарушений. По сравнению с традиционным методом камерной и столбовой добычи, он намного безопаснее и обеспечивает более высокую производительность и коэффициент извлечения полезных ископаемых [8-9]. Этот метод высокомеханизирован, что делает его наиболее производительным методом подземных горных работ (Рис. 4). Процесс разработки длинными столбами начинается с разработки вскрывающих выработок в целевой пласт руды. Они могут быть в форме штреков для более мелких рудных пластов, как в нашем случае в диатомитовой шахте, или в виде вертикального ствола для более глубоких пластов. (рис. 5).

Система длинных забоев состоит из трех основных типов оборудования: очистной комбайн, цепи самодвижущихся гидравлических стоек для поддержания кровли по всей ширине рудного забоя и скребковый конвейера в забое [10-11]. Очистной комбайн для длинных забоев состоит из основного корпуса, двух рычагов для измерения дальности, шарнирно закрепленных на каждой стороне основного корпуса, и режущего барабана, прикрепленного к концу каждого рычага для определения дальности.

В основной части очистного комбайна находятся электродвигатели и органы управления, коробки передач, гидравлическое оборудование и насосы. Рычаги для измерения дальности могут поворачиваться вверх или вниз с помощью гидроцилиндров, диапазон их движения зависит от высоты рудного пласта. Режущие барабаны, имеющие



**Рисунок 4.** Технология разработки длинными очистными забоями и его оборудование



**Рисунок 5.** Непрерывная добыча

от 40 до 60 резов, установлены на лицевой стороне рычагов измерения дальности. Во время работы барабан вращается со скоростью 20-50 об / мин в плоскости, параллельной забое.

## **Выводы**

Замена камерно-столбовых методов добычи, используемых в настоящее время в диатомитовой шахте в западном Алжире, методом длинных столбов, который в основном используется на угольных шахтах, приведет к увеличению годовой производительности шахты, как того необходимо компании-владельцу. Использование этого метода может увеличить скорость извлечения минерального сырья в 10 и более раз, поскольку производительность можно увеличить в 10 и более раз, использование гидравлической самодвижущейся крепи позволяет надежно поддерживать кровлю в процессе выемки. Управление кровлей полным обрушением позволит извлекать полезное ископаемое без потерь, в отличие от используемого в настоящее время метода, где около 40% минерального слоя остается в целиках и уходит в потери.

Эффективность использования предложенной геотехнологии, подтверждается успешной добычей пород в различных странах КНР, Российской Федерации, США, Казахстане, Украине, где ведется добыча углей со схожими физико-механическими свойствами диатомитового рудного тела углей, где отдали предпочтение этому способу. Предлагаемая технология не только увеличивает производительность, но и гарантирует безопасность рабочих и производственных процессов, которую обеспечивает высокопроизводительные комплексы с полной механизацией, отбойки, поддержания кровли, транспортировки добытого полезного ископаемого.

## **Библиография**

1. Ламамра А., Негурица Д.Л. Основные направления развития геотехнологии на Кизельгурском месторождении (Алжир) // Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых: материалы 14 Международной. научной школы молодых ученых и специалистов. М.: ИПКОН РАН, 2019. С. 202–206. URL: [www.spsl.nsc.ru/FullText/konfe/ПрОсвНедр2019.pdf](http://www.spsl.nsc.ru/FullText/konfe/ПрОсвНедр2019.pdf)
2. Abdessattar Lamamra, Vitaliy Andreevich Erevenko, Dmitriy Leonidovich Neguritsa, Improvement of the mining technology in the diatomite mine, Algeria. M. P. Fedorov et al. / News of the Ural State Mining University. 2020. Issue 1(57), pp. 00 - 00. DOI: 10.21440/2307-2091-2020-1-00-00
3. R. Nakache, M. L. Boukelloul, A. Bouhedja, M. Fredj. Stability analysis of the pillars of the underground mine Chaabet El-Hamra, Algeria by analytical and numerical methods, DOI: 10.29202/nvngu/2019-2/1
4. Andre Zinganoa Anderson Weissb. Subsidence over room and pillar retreat mining in a low coal seam. Volume 29, Issue 1, January 2019, Pages 51-57. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2018.11.022>
5. Luo, Y., 2015. Room-and-pillar panel design method to avoid surface subsidence. Mining Engineering, 67, pp. 105–110.
6. Abdessattar Lamamra, Dimitriy, Neguritsa, Vitaly A. Eremenko. Justification of Longwall Mining Technology for the Development of Kieselguhr Deposit in Sig Mine, Algeria. IOP

Conf. Series: Earth and Environmental Science 609 (2020) 012002 doi:10.1088/1755-1315/609/1/012002

7. Lamamra A., Neguritsa D., Mazari M. Geostatistical Modeling by the Ordinary Kriging in the Estimation of Mineral Resources on the Kieselguhr Mine, Algeria // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 362. 12051. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/362/1/012051>
8. Wang Fangtian Duan Chaohua Tu Shihao Liang Ningning Bai Qingsheng. Hydraulic support crushed mechanism for the shallow seam mining face under the roadway pillars of room mining goaf. Volume 27, Issue 5, September 2017, Pages 853-860. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.07.013>
9. Sampurna Arya Joseph SottileThomas Novak. Development of a flooded-bed scrubber for removing coal dust at a longwall mining section. Volume 110, Part A, December 2018, Pages 204-213. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.08.003>
10. Qingsheng Bai, Shihao Tu. (2019). A General Review on Longwall Mining-Induced Fractures in Near-Face Regions. Article ID 3089292, 22 pages <https://doi.org/10.1155/2019/3089292>
11. Syd S. Peng, Feng Du, Jingyi Cheng, Yang Li (2019). Automation in U.S. longwall coal mining: A state-of-the-art review. Vol 29, Issue 2, March 2019, Pages 151-159, <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2019.01.005>

*Исследование технологических особенностей открыто-подземной разработки  
нагорных месторождений*

*Самадова Г.М. (НГГИ, Узбекистан, otash-fire@mail.ru), Таджиев Ш.Т.\* (НГГИ,  
Узбекистан, sh\_tadjiev@mail.ru), Куролов А.А. (Навоийский ГМК, Узбекистан,  
a\_kurolov@ngmk.uz)*

**Аннотация**

В данном тезисе рассматриваются проблемы открыто-подземной разработки нагорных месторождений.

**Ключевые слова**

Нагорные карьеры, технологические схемы, открыто-подземная разработка.

**Теория**

Исходной позицией традиционных подходов к проектированию открыто-подземной разработки в настоящее время является само определение понятия «открыто-подземная разработка». Суть этого определения во всех ее вариантах настоящего времени такова: открыто-подземная разработка есть отработка запасов одного месторождения открытым и подземным способами по взаимовлияющим технологическим схемам. При этом отработка месторождения данными способами может совпадать или не совпадать во времени.

Если учитывать лишь взаимовлияние технологических схем двух способов, то могут создаваться и такие условия, при которых станут невозможными технологические схемы открытого или подземного способов в их нормальном виде. Они станут невозможными или по экономическим соображениям, или по условиям безопасности.

Поэтому суть открыто-подземной разработки точнее можно выразить следующим определением ее понятия: открыто-подземной разработкой называется способ отработки одного месторождения по единой технологической схеме, представляющей комбинацию элементов открытого и подземного способов ведения работ с учетом взаимной компенсации снижения технико-экономических показателей лимитирующих процессов.

Согласно этому определению, оптимальный вариант открыто-подземной разработки – единая технологическая схема независимо от времени отработки отдельных частей месторождения, которая компенсирует снижение технико-экономических показателей открытого и подземного способов, происходящих при их взаимном (неблагоприятном) влиянии.

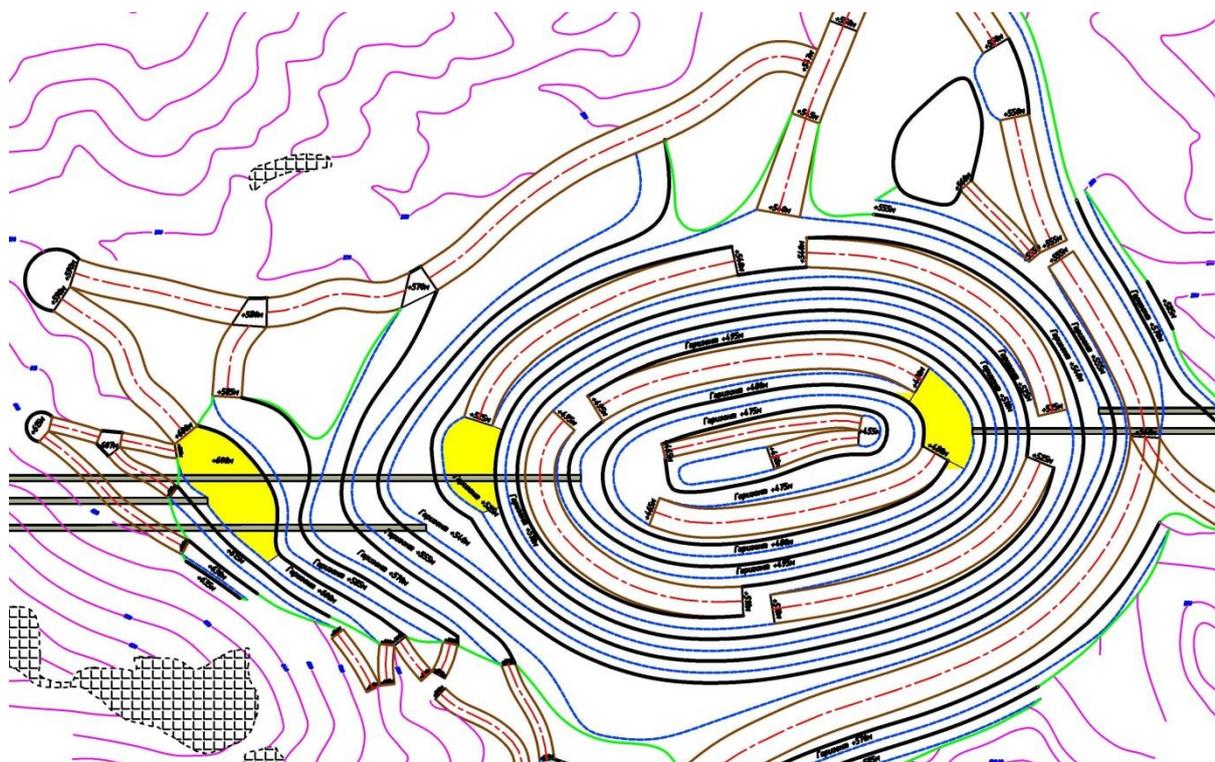
В соответствии с таким подходом при проектировании нагорного месторождения с открыто-подземной разработкой горно-экономические задачи решаются с учетом снижения показателей открытого и подземного способов при раздельном их применении на данном месторождении. Для компенсации этого снижения технологическая схема открыто-подземной разработки при решении горно-экономических задач должна учитывать изменения в расчетных параметрах и в методах расчета.

При необходимости значительной компенсации эти параметры могут изменяться настолько, что потребуют новых методов установления исходных данных для расчетов.

То есть в этом случае открыто-подземная разработка проявится как, новый способ. Величина изменения параметров технологических схем при открыто-подземной разработке связана со степенью компенсации технико-экономических показателей. Поэтому при оценке вариантов технологических схем открыто-подземной разработки можно использовать эту связь для выбора оптимального варианта из возможных. С учетом приведенных положений мы в дальнейшем будем пользоваться понятиями «степень (доля) компенсации» и «эффект компенсации (или эффект мероприятий)».

Эффект компенсации означает денежное выражение компенсации, измеряемой в долях единицы. Степень компенсации выражает долю возможного улучшения экономических показателей варианта открыто-подземной разработки по сравнению с раздельной отработкой месторождения открытым и подземным способами  $Z_{\Delta}$  в переходной зоне (смежной зоне).

Наиболее удобно представлять эту долю через возможное увеличение глубины разработки месторождения открытым способом под влиянием элементов комбинации. Такой подход связан с тем, что открыто-подземная разработка предполагает преимущественное применение открытого способа (приоритет) путем расширения его области в глубь месторождения. При этом приоритет обеспечивается степенью увеличения глубины разработки в зависимости от величины экономического эффекта, который компенсирует снижение технико-экономических показателей чисто открытого способа на данной глубине. Таким образом, здесь взаимосвязаны доля компенсации и экономический эффект этой доли.



**Рисунок. 1** Финальная форма карьера по отработке рудного тела №51 Зиаэтинского рудного поля с учетом размещения на бортах карьера специальных площадей под промплощадки перспективных штольневых горизонтов.

Для оценки варианта открыто-подземной разработки все это можно выразить следующей формулой:

$$R = \Pi \cdot 100 / Z_{\Delta} (\Phi_{ОСН} + \Phi_{ОБ}) = \max$$

где R - уровень рентабельности предприятия, %;  $\Pi$  - сумма прибыли предприятия, руб.;  $Z_{\Delta}$  - доля компенсации помех, доли ед.;

$\Phi_{ОСН}$ ,  $\Phi_{ОБ}$  - основные фонды и оборотные средства предприятия соответственно, руб.;

$$Z_{\Delta} = H_0 / H_K$$

Здесь  $H_0$  - глубина разработки при открытом способе (определяется известной формулой), м;  $H_K$  - глубина разработки с учетом открыто-подземной отработки, м.

$$H_K = H_0 (1 + n_{КОМ} / n_{\phi})$$

где  $n_{КОМ}$ ,  $n_{\phi}$  - граничные коэффициенты вскрыши для глубины соответственно комбинированным и открытым способами. При оценке по приведенным затратам

$$Z_n = Z_{\Delta} \left( \frac{\sum_{i=t_n}^T C_i K_{П.З}^{i-t_n}}{T - n_{\phi}} + E_H \frac{n_{\phi}}{n_H} \sum_{i=1}^{n_{\phi}} K_i K_{П.З}^{t_n-i} \right) = \min,$$

где  $C_i$ ,  $K_i$  - текущие затраты (себестоимость) и капитальные вложения по каждому варианту соответственно;  $C_i K_{П.З}^{i-t_n}$ ,  $K_{П.З}^{t_n-i}$  - коэффициенты приведения затрат будущих и прошлых лет соответственно;  $E_H$  - нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений,  $E_H = 0,12$ ; T - продолжительность оцениваемого периода с начала строительства объекта, лет;  $n_{\phi}$ ,  $n_H$  - фактический и нормативный сроки строительства объекта соответственно, год;  $t_n$  - год приведения затрат; i - рассматриваемый год затрат. Выражение в скобках представляет приведенные затраты на добычу с учетом фактора времени по открытому способу разработки на данном месторождении.

Приведенные оценочные формулы предполагают наличие вариантов разработки. Зная варианты разработки, можно ориентировочно (предварительно) подсчитать коэффициенты их эффективности. Затем можно установить основные технико-экономические параметры по технологическим схемам и оценить вариант точнее.

Эти признаки позволяют найти элементы, по которым формируются варианты разработки. Зная варианты разработки, можно ориентировочно (предварительно) подсчитать коэффициенты их эффективности. Коэффициент эффективности позволяет отнести данное месторождение к определенной группе по классификации. Затем можно установить основные технико-экономические параметры по технологическим схемам и оценить вариант точнее.

При проектировании карьеров традиционными методами, когда сравниваются 2-3 варианта развития горных работ, лучший вариант может быть пропущен. Поэтому с появлением современных компьютерных технологий проектирования появилась реальная возможность поиска оптимального варианта развития карьера, который обеспечивает:

- минимальные объемы разработки при максимальном извлечении запасов месторождения;

- равномерное распределение объемов разработки во времени.

При этом следует иметь в виду, что составной частью такого варианта является построение нерабочего борта карьера с параметрами, обеспечивающими минимальные объемы вскрыши при сохранении безопасности горных работ.

## **Выводы**

Итак, следует отметить, что условия, определяющие эффективность открыто-подземной разработки, выражаются взаимодействием следующих факторов:

1. Подход к понятию комбинированного способа. Взаимодействие показателей, определяющих эффективность способа, зависит от понятия сущности самого способа.

2. Новизна применяемых технологических решений. При эксплуатации переходной зоны месторождения, где по экономическим результатам два способа (открытый и подземный) уравниваются, степень отличия комбинированного способа от традиционных способов (новизна) будет выражать его эффективность.

3. Глубина разработки. От глубины разработки зависит степень совершенства комбинированного способа, так как с увеличением глубины технологические решения будут включать все больше элементов подземного (менее производительного) способа.

4. Соотношение граничных коэффициентов вскрыши комбинированного и открытого способов. Это соотношение, с одной стороны, влияет на глубину разработки, с другой - определяет долю компенсации помех (неблагоприятных действий факторов).

5. Метод оценки комбинированного способа. Может быть использована предварительная оценка, не требующая детальных расчетов по всем показателям, или окончательная оценка с подробным просчетом множества показателей.

При таком определении эффективности разработки прослеживают закономерности качественного и количественного изменений показателей вариантов; выбор варианта разработки производят более упрощенным, последовательным методом, а технико-экономические показатели определяют при минимальном объеме расчетов.

## **Библиография**

1. Каплунов Д.Р., Рыльников М.В., Блюм Е.А., Красавин А.В. Научные аспекты выбора геотехнологической стратегии освоения рудных месторождений комбинированным способом // ГИАБ.-2003, №1. СЛ42.
2. Каплунов Д.Р., Юков В.А. Геотехнология перехода от открытых подземным горным работам. -М.: Горная книга, 2007. -267 с.
3. Каплунов Д.Р., Шубодеров В.И. Перспективы разработки рудных месторождений комбинированным способом. Горный журнал, 1997, №8, стр. 16-18.
4. Кабисов Х.Г., Харебин М.П. Исследование влияния формы и размеров зарядных камер на эффективность разрушения горных пород на нагорных карьерах. Фонды Карьероуправления «Кавдоломит» СКГТУ, 1994.

*Современные проблемы открыто-подземной разработке нагорных месторождений Таджикиев Ш.Т.\* (НГГИ, Узбекистан, sh\_tadjiev@mail.ru) Куролов А.А. (Навоийский ГМК, Узбекистан, a\_kurolov@ngmk.uz), Жабборов О.И.\* (Навоийский ГМК, Узбекистан, OI.Jabborov@ngmk.uz)*

**Аннотация.**

В данном тезисе рассматриваются проблемы открыто-подземной разработки нагорных месторождений.

**Ключевые слова:**

Нагорные месторождения, малая мощность, открыто-подземная разработка.

**Теория:**

На горнодобывающих предприятиях Республики Узбекистан длительное время разрабатываются крупные крутопадающие месторождения (Мурунтау, Кальмакыр), но в связи с ростом цены золота, с истощением запасов, доступным для разработки открытым способом и отсутствием других аналогичных крупных месторождений горно-металлургические комбинаты, в том числе и Навоийский, начал постепенно переходит на отработку маломощных жильных нагорных месторождений.

Особенностью отработки жильных нагорных месторождений являются горные условия, малая мощность рудных тел при большой протяженности, крутое падение, разветвление и сближенное расположение рудных тел, небольшая глубина, которые находятся в пределах 50-150 м, срок существования карьеров относительно небольшие от нескольких месяцев до 3-5 лет. Альтернативный подземный способ добычи полезных ископаемых сопровождается большими капитальными затратами, высокой себестоимостью добычи, а при этом производительность в разы меньше чем при открытой разработке месторождения.

Рудником Каракутан НГМК разрабатываются нагорные месторождения Зиаэтдинского рудного поля, представляющую более сотни нагорных жильных рудных тел. Средняя мощность рудных тел составляет 2-10 м, при протяженности от 50 м до 1000 м и более. Проектно-сметная документация на отработку месторождений рудника Каракутан разрабатывается институтом Узгеорангметлити и Центральным проектным бюро Навоийского ГМК.

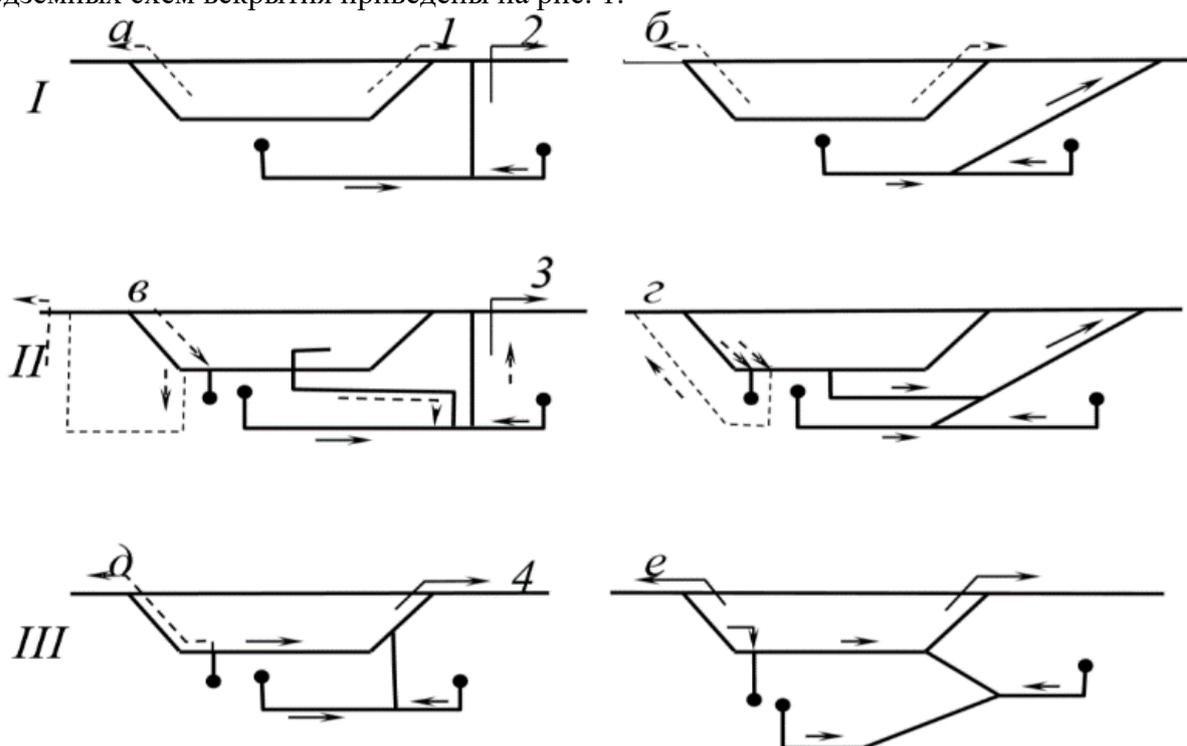
Открытая разработка в данных участках проводилась и проводятся с применением горнотранспортного оборудования малой вместимостью ковша и кузова, в т.ч.: экскаваторы с объемом ковша 5-6 м<sup>3</sup> марок ЭКГ-5А и RH-40Е вместе с этим буровые станки СБУ, ROC, Drilltex, а также погрузчики, автосамосвалы грузоподъемностью 25 тн. и т.д.).

Несмотря на принятие проектных решений, при отработке рудных тел Зиаэтдинского рудного поля в условиях гористой местности возникали проблемы:

- по размещению промплощадки и временных складов;

- по выбору трассы вскрывающих выработок, а также основного горнотранспортного оборудования;
- по безопасному и эффективному использованию оборудования;
- по обеспечению необходимым фронтом работ из-за цикличности процессов.

С учетом вышеизложенного в данных условиях необходимо предусмотреть применение открыто-подземной схемы вскрытия шахтных и карьерных полей с использованием подземных выработок, которые представляют собой частичное или полное соединение наземных и подземных вскрывающих выработок. Варианты открыто-подземных схем вскрытия приведены на рис. 1.



**Рисунок 1** Варианты совместного вскрытия карьерного и шахтного полей с использованием подземных выработок. I – раздельное вскрытие вертикальными (а) и наклонными (б) стволами; II – совмещенное вскрытие комплексами вертикальных (в) и наклонных (г) стволов; III – частично совмещенное вскрытие с проведением из карьера вертикальных (д) и наклонных (е) стволов; 1 – выдача руды из открытых работ; 2 – то же из подземных работ; 3 – совместная выдача руды; 4 – выдача руды через карьер с перепуском.

Поэтому на фоне увеличивающегося количества жильных нагорных месторождений, привлекаемых к отработке, разработка основ стратегии и проектирования отработки жильных нагорных месторождений полезных ископаемых открытым и подземным способами является актуальной научно-практической задачей. Решение которой должна базироваться на оптимальном сочетании элементов отдельных подсистем, на совместном использовании критериев «технологичность» - «эффективность» - «безопасность», увеличение срока эксплуатации отработки запасов открытым способом, сокращения сроков проектирования и строительство рудников.

**Выводы:**

Таким образом, в настоящее время исходя из горно-геологических условий, необходимо уже на первом этапе освоения месторождения иметь в целом полную стратегию развития его отработки. Эффективность открытых горных работ, возможно, увеличить за счет отработки прибортовых запасов месторождения выработками, пройденными из ранее выработанного пространства карьера.

**Библиография:**

1. Кабисов Х.Г., Харебин М.П. Исследование влияния формы и размеров зарядных камер на эффективность разрушения горных пород на нагорных карьерах. Фонды Карьероуправления «Кавдоломит» СКГТУ, 1994.

***Исследование способа извлечения дополнительной руды при системе разработки с  
магасинированием в отработанных блоках***

***Тошпулатов Ш.Т.\* (Навоийский ГМК, Узбекистан, Sh.Toshpulatov@ngmk.uz)  
Куролов А.А. (Навоийский ГМК, Узбекистан, a\_kurolov@ngmk.uz), Жабборов О.И.  
(Навоийский ГМК, Узбекистан, OI.Jabborov@ngmk.uz),***

**Аннотация**

В данном тезисе рассматриваются возможности и проработка способа извлечения руды при системе разработки с магасинированием в отработанных блоках.

**Ключевые слова**

Потери руды, извлечение, обеспечение безопасности горных работ.

**Теория**

Система разработки с магасинированием и мелкошпуровой отбойкой руды предусматривается для отработки рудных тел со средней мощностью в блоке менее 3,0 м при устойчивых и среднеустойчивых вмещающих породах и рудах. Для подготовки блоков к разработке и производству очистной выемке проходит комплекс подготовительно-нарезных выработок:

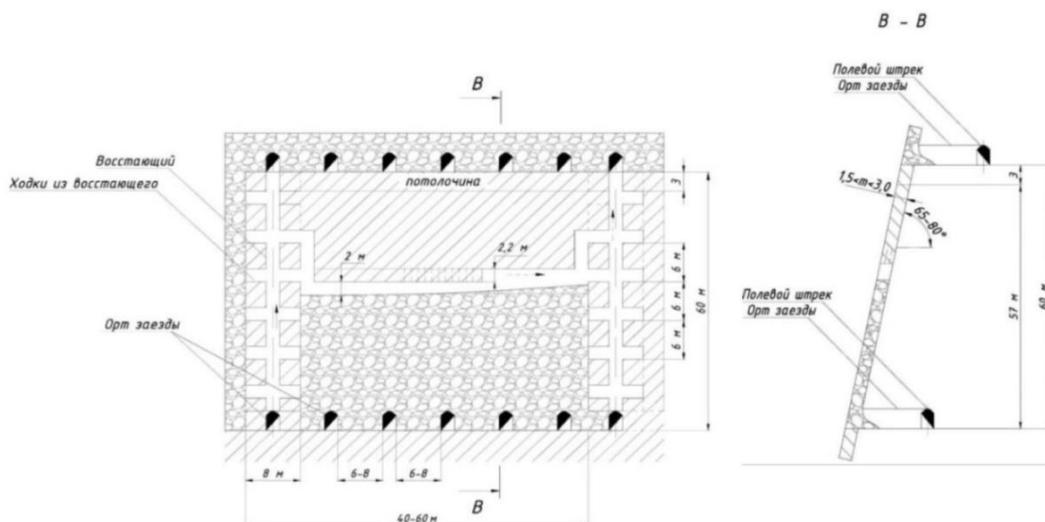
- полевой штрек с погрузочными ортами-заездами;
- блоковые восстающие с отрезными щелями, ходки из восстающего и др;
- подсечной (рудный) штрек.

В данной системе разработки полевой штрек проходит на расстоянии 6 – 8 м от рудного тела. Подсечной штрек проходит по простиранию рудного тела, на почву которого перепускается руда из очистных работ, отбиваемая слоями (рис. 1).

Отбойка руды в блоке производится горизонтальными слоями толщиной 1,8–2м в восходящем порядке. Отбойка ведется восходящими шпурами, которые бурятся телескопическими перфораторами с поверхности отбитой и замагасинированной руды. После отбойки производится частичный выпуск руды, с целью создания пространства для рабочих высотой около 2 м. После отбойки и заполнения магазина на всю высоту производится полный выпуск замагасинированной руды и погашение целиков. На выемочно-погрузочных работах применяется самоходное оборудование на пневмошинах или оборудования с пневмоприводами на рельсах.

После производства полного выпуска руды из очистного пространства в очистном пространстве между ортами-заездами остается часть отбитой руды в виде купол, так как расстояния между орт-заездами составляет в пределах 6-8 м и требованиями Правил безопасности запрещается нахождение оборудования, а также персонала в очистном пространстве. Оставленная руда считается как потери руды в разрыхленном виде. Согласно проведенных исследований оставляемая часть отбитой руды в этом случае составляет в пределах 1 %. Согласно опыта освоения жильных месторождений запасы руды месторождений малых размеров, где применяется данная система разработки

составляет от 0,2 до 2,0 млн. т, что в свою очередь потери руды в так называемых куполах составляет в пределах от 2-20 тыс. т. ежегодно.



**Рисунок 1.** Система разработки с магазинированием и мелкошпуровой отбойкой руды

Для максимального извлечения руды от добычного блока магазинированной руды при подготовке, нарезке и очистных работах блока необходимо предусмотреть следующие:

- орт-заезды соединяющие полевые штреки с подсечным штреком необходимо предусмотреть под острым углом;
- расстояние между орт-заездами должны оставаться в пределах 6-8 м;
- соединение каждого орт-заезда с подсечным штреком таким образом, что обеспечивалось возможность извлечения отбитой руды в виде купол при этом обеспечивая возможности заезда ковша погрузочно-доставочной машины в магазинированную руду.

## Выводы

Таким образом, извлечение остаточных запасов руды из отработанных блоков позволяет добывать дополнительное количество руды в пределах от 2-20 тыс. т ежегодно, в зависимости от ресурсного потенциала месторождения. В условиях интенсивного истощения богатых и легкообогатимых запасов золотосодержащей руды, повышение полноты извлечения товарной руды из недр может уменьшить потери и повысить технико-экономические показатели разработки месторождения.

## Библиография

1. Кузьмин Е. В., Хайрутдинов М. М., Зенько Д. К. Основы горного дела: учебник для вузов. М.: ООО «Арт ПРИНТ», 2007. 472 с.
2. Именитов В.Р. Процессы подземных горных работ при разработке рудных месторождений. Недра, Москва, 1978 г., 528 стр.
3. Пирогов Г.Г. Проектирование систем разработки рудных месторождений: учеб. пособие / Г.Г. Пирогов. – Чита: ЗабГУ, 2013. – 216.
4. Нормы технологического проектирования рудников цветной металлургии с подземным способом разработки. – Москва: Недра, 1993. 221 с.

***Условия применимости этажной системы разработки урановых рудных залежей с фильтрационной неоднородностью***

***Халимов И.У.\* (Навоийский государственный горный институт, Республика Узбекистан, г.Навои, halimov\_i@bk.ru), Рустамов Р.Р. (Навоийский государственный горный институт, Республика Узбекистан, г.Навои), Абдуганиев Ф.Ш. (Навоийский государственный горный институт, Республика Узбекистан, г.Навои), Аликулов А.Я. (Навоийский государственный горный институт, Республика Узбекистан, г.Навои)***

**Аннотация**

Одной из основных особенностей строения рудовмещающих горизонтов пластовых гидрогенных урановых месторождений, обрабатываемых способом подземного выщелачивания (ПВ), существенно влияющей на эффективность процесса выщелачивания, является их фильтрационная неоднородность в плане и в разрезе.

Учитывая вышеуказанных, в тезисе кратко приведены результаты исследования по применимости этажной системы разработки и ее преимущество, режимы закачки-откачки и кислотности выщелачивающих растворов, а также технико-экономической оценки работы этажных блоков ПВ.

**Ключевые слова**

Подземного выщелачивания, неоднородность, этажной системы разработки.

**Теория**

Для процесса ПВ необходимо, чтобы выщелачивающий раствор вступил в непосредственный контакт и реакцию с минералами урана. Иными словами, минералы, содержащие уран, должны быть доступными для выщелачивания, что в значительной мере обуславливается способностью горнорудной массы фильтровать выщелачивающий раствор. Последняя зависит в свою очередь от эффективной пористости, т.е. от типа, размера и морфологии, сообщающихся между собой пор и трещин, по которым осуществляется движение пластовых вод и технологических растворов [1].

Значительное влияние на структуру фильтрационного потока оказывает анизотропия проницаемости руд и рудовмещающих отложений, которая выражается в том, что проницаемость рыхлых осадочных пород по наслоению выше, чем поперек слоистости (как следствие общего их свойства - фильтрационной неоднородности). Анизотропия проницаемости имеет место не только в разрезе рудовмещающего горизонта, но и в плане, однако, в плане она проявляется в значительно меньшей степени. При этом, несмотря на то, что оруденение урана, как правило, приурочено к наиболее фильтрующей части разреза, собственно рудная залежь по сравнению с рудо вмещающим и породами оказывается менее проницаемой по причине того, что руды гидрогенных месторождений обычно локализуются в прослоях, обогащенных «осадителями» урана (органикой, сульфидами, тонкозернистыми песками, глинистыми частицами и др.), снижающими их проницаемость [2].

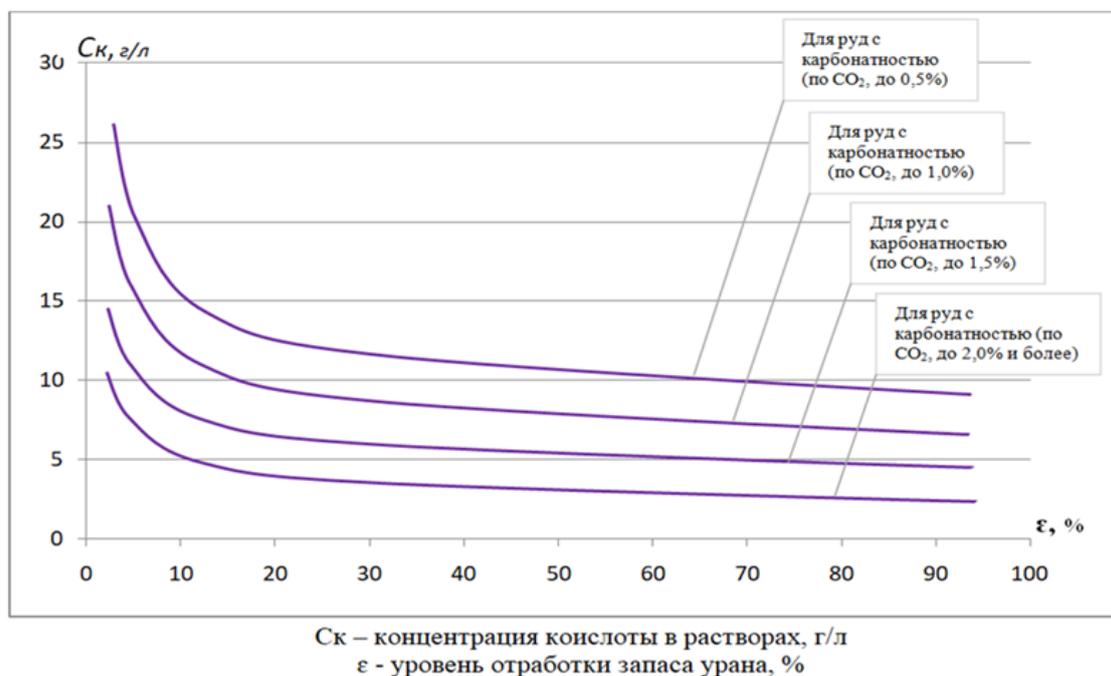
Основной особенностью этажной системы ПВ является отработка рудных залежей через этажно расположенные фильтры технологических скважин (откачные

фильтры под залежью, закачные — над ней, или наоборот, с установкой закачных фильтров в более проницаемой части рудовмещающего разреза - окисленных песках, обогащенных 3-х валентным железом, которое является природным интенсификатором процесса выщелачивания урана). В системе выделяются три варианта скважинной отработки — этажный с однорядным расположением скважин (эксплуатационных ячеек), этажный и двухэтажный с шахматным или прямоугольным расположением скважин для отработки широких и двухкрыльевых рудных залежей.

При применении этажной системы разработки продолжительность и интенсивность отработки этажных блоков определяются не только природными параметрами залегания рудных залежей, но и в значительной мере режимами закачки-откачки и кислотности выщелачивающих растворов.

Теоретические основы применения этажной системы ПВ, проверенные и подтвержденные практикой отработки этажных блоков и результатами анализов, предполагают постоянное гидродинамическое взаимодействие откачных и закачных скважин от стадии подготовки запасов (закисление) до полной их отработки. Поэтому рекомендуется отработку этажных блоков производить только в режиме одновременной закачки и откачки с соблюдением баланса растворов.

На рис. 1 для этажных блоков с различной карбонатностью руд и вмещающих пород рекомендуются различные режимы кислотности рабочих растворов, особенно на начальных этапах их отработки, с общей тенденцией планомерного снижения концентрации кислоты по мере роста уровня извлечения урана.



**Рисунок 1.** Режимы кислотности рабочих растворов в зависимости от степени карбонатности руд и динамики отработки запасов

Преимущества этажной системы перед другими системами ПВ являются:

- более полное использование потока растворов, фильтрующихся между закачными и откачными фильтрами, для геотехнологической проработки рудного слоя;
- более однородное распределение скоростей фильтрации и расходов потока в гидродинамическом контуре ПВ, также более четкий характер этого контура;
- меньшая зависимость эффективности потока растворов от таких природных параметров, как проницаемость, фильтрационная неоднородность анизотропия руд и рудо в мешающих пород, общая мощность рудо в мешающего горизонта и отношение  $m/Mэ$ .

Выявленными особенностями обеспечиваются более интенсивное ПВ (при меньших затратах растворителя), несмотря на меньшие абсолютные значения скорости фильтрации растворов.

По результатам технико-экономической оценки работы этажных блоков ПВ установлено;

- по сравнению с прямоугольной системой разработки этажная система характеризуется более низкими (на 12-15%) удельными расходами кислоты на добычу урана, лучшими (на 10-15%) другими основными геотехнологическим и показателями ПВ. При этом себестоимость добычи урана уменьшается на 10-15%;

- в сравнении с трехскважинным вариантом применение технологических ячеек, оборудованных в двухскважинном варианте, позволит снизить себестоимость добычи урана по этажным блокам еще примерно на 10-12%;

- соблюдение оптимального режима эксплуатации этажных блоков ПВ (исключение из практики отработки положительного дисбаланса растворов) позволит дополнительно сократить удельный расход кислоты па добычу урана на 10-15%.

Этажная система с различными ее вариантами может применяться для отработки как широких, так и узких (в плане) рудных залежей с одноярусным и многоярусным оруденением. Она может быть использована для отработки отдельных изометричных рудных тел, имеющих небольшие размеры, краевых частей рудных залежей, «вписывание» в которые традиционных схем вскрытия часто оказывается сложным, а также участков сопряжения эксплуатационных блоков других скважинных систем ПВ.

Вместе с тем применение этажной системы с ее вертикальной схемой фильтрации выщелачивающих растворов не является повсеместным; основными факторами, препятствующими использованию системы, могут быть:

локализация рудного тела непосредственно у одного из водоупоров, ограничивающих рудовмещающий горизонт;

значительная фильтрационная неоднородность руд и рудовмещающих отложений, выражающаяся наличием в разрезе многочисленных пропластов или слоев («слоеный пирог»), резко различных по проницаемости;

малая мощность рудовмещающего горизонта;

более высокая карбонатность надрудной или подрудной части разреза по отношению к рудной.

Исходя из вышесказанных можем сделать вывод, что проверенная на практике добычных работ эффективность фильтрации рабочих растворов поперек напластования пород (в крест рудной залежи) дают основание для более широкого применения этажной системы разработки на объектах ПВ Навоийского горно-металлургического комбината.

### **Библиография**

1. Халимов И.У., Турсунова С.У. Повышение эффективности подземного выщелачивания урана путем гидроразрыва пласта // Горный информационно-аналитический бюллетень, 2016 г 25-29 январь, Москва.
2. Аликулов Ш.Ш., Халимов И.У. и др. Исследование гидродинамических параметров при подземном выщелачивании путем физического моделирования // Горный вестник, Узбекистан 2019г. №1.
3. Аликулоа Ш.Ш., Халимов И.У., Алимов М.У. Интенсификация параметров подземного выщелачивания урана из слабопроницаемых руд на примере урановых месторождений узбекистана // UNIVERSUM: ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ. Научный журнал, Выпуск: 6(75) Июнь 2020 Часть 1 Москва 2020.
4. Петухов О.Ф., Рузиев Б.Т., Шарафутдинов У.З., Халимов И.У. Исследования некоторых вмещающих пород урановых руд методом термического анализа // Горный вестник, Узбекистан 2019г. №3

***Повышение эффективности рудничных компрессорных установок на основе совершенствования их систем охлаждения***

***Хатамова Д.Н.\* (Навоийский государственный горный институт, e-mail: dilyon\_hat@bk.ru), Меркулов М.В. (Российский государственный геологоразведочный университет (РГГРУ-МГРИ), e-mail: mvm.07@mail.ru), Джураев Р.У. (Навоийский государственный горный институт, e-mail: r.u.djuraev@yandex.ru)***

**Аннотация**

Компрессорные установки являются энергоемкими установками, удельный вес которых в потреблении горными предприятиями электрической энергии составляет значительную долю на многих предприятиях доля энергопотребления, приходящаяся на компрессорное оборудование, достигает 25-30% [1]. Учитывая столь широкое применение сжатого воздуха, возникает необходимость снижения эксплуатационных затрат, на основе разработки эффективных технических решений в процессе производства сжатого воздуха на промышленных предприятиях.

Существующие системы охлаждения компрессорных установок имеют ряд существенных недостатков, обусловленных особенностями их эксплуатации. Анализ эксплуатации компрессорных установок показывает, что высокие температуры всасываемого воздуха в поршневых компрессорах на каждые 5-6 °С увеличивает расход электроэнергии на сжатие воздуха на 1 %, а производительность снижается на 8-10%, что приводит к ощутимым экономическим потерям при производстве сжатого воздуха [2].

В данной статье рассмотрены различные способы улучшения работы системы охлаждения, предложены новые технические решения, реализация которых позволит снизить энергоемкость эксплуатации компрессорных установок.

**Ключевые слова**

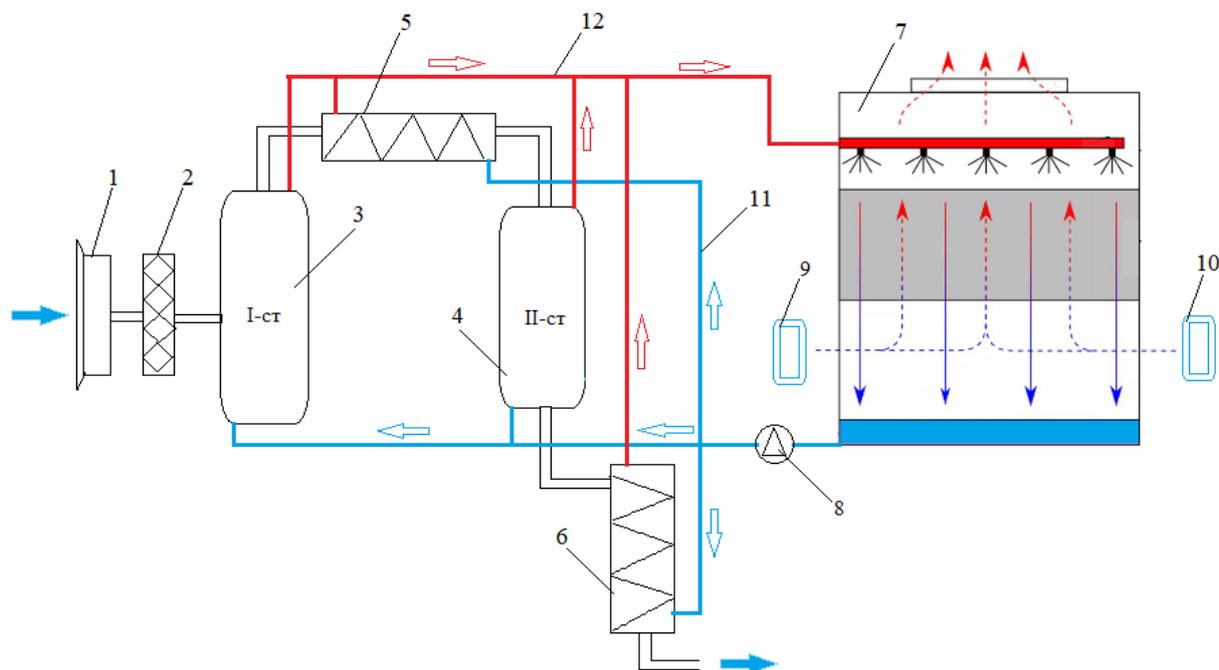
компрессор, система охлаждения, температура, сжатый воздух, теплопередача, промежуточный холодильник, расход электроэнергии, коэффициент подачи.

**Теория**

Эффективная работа компрессорной установки в значительной степени зависит от охлаждения. Система охлаждения компрессорной установки решает три задачи – снижает энергоемкость процесса сжатия в цилиндре, исключает вероятность возгорания смазочных масел и способствует улучшению условий эксплуатации рабочих узлов компрессора [3]. Нарушения работы системы охлаждения, как правило, сопряжены с вынужденной остановкой компрессора и повышенным удельным расходом электроэнергии на выработку сжатого воздуха.

В большинстве промышленных предприятий страны система охлаждения стационарных компрессоров выполнена циркуляционной по разомкнутой схеме. На рис. 1 представлена разомкнутая схема системы охлаждения двух ступенчатого поршневого компрессора.

Анализ эксплуатации компрессорных установок показывает, что недоохлаждение воздуха в промежуточных холодильниках поршневого компрессора на каждые 5-6 °С увеличивает расход электроэнергии на сжатие воздуха на 1 % [4].



**Рисунок 1.** Схема разомкнутой системы охлаждения двухступенчатого поршневого компрессора.

1-воздухозаборник, 2-фильтр, 3-первая ступень компрессора, 4-вторая ступень компрессора, 5-промежуточный холодильник, 6-концевой холодильник, 7-градирня, 8-насос, 9,10-вентиляторы, 11-трубопровод охлажденной воды, 12-трубопровод нагретой воды.

Существующие системы охлаждения компрессорных машин имеют существенные недостатки, вызванные особенностями их эксплуатации.

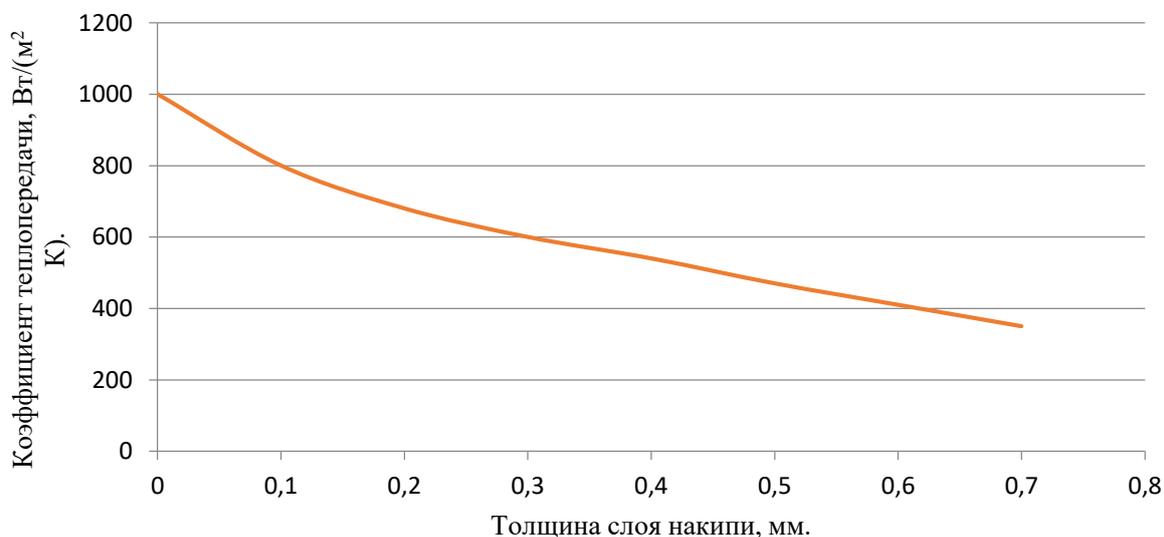
Вода, используемая для охлаждения, обладает повышенным содержанием солей и различных примесей. В большинстве случаев общая жесткость воды, достигая более 20 мг-экв/л, почти в 3 раза превышает допустимых значений, что является основной причиной быстрого загрязнения теплообменных поверхностей. Понижение интенсивности теплообменных процессов, в связи с ростом отложений в виде накипи, способствует уменьшению безопасности и экономичности работы компрессорного оборудования.

Наличие слоя накипи толщиной в 0,1 мм приводит к снижению охлаждения воздуха в холодильнике на 10-15 %. Слой накипи снижает коэффициент теплопередачи за счет добавления дополнительного термического сопротивления [5].

На выходе из промежуточного холодильника нормальная температура сжатого воздуха не должна превышать температуру охлаждающей воды на входе более, чем на 5-10 °С. Если же перепад температур увеличивается до 20 °С, расход электроэнергии при прочих равных условиях может увеличиться на 14 %. Накипь на внутренних стенках

трубок резко снижает передачу тепла охлаждающей воде, на рис.2 приведена графическая зависимость коэффициента теплопередачи от толщины слоя накипи.

Из графика, приведенного на рис. 2, наблюдается что, при увеличении толщины слоя накипи ухудшается коэффициент теплопередачи.



**Рисунок 2.** Изменение коэффициента теплопередачи в зависимости от толщины слоя накипи

Проведенные исследования работы систем охлаждения компрессорных установок выявили следующие основные факторы, приводящие к снижению эффективности установки.

К ним относятся:

- частые образования загрязнений на теплообменных поверхностях, снижение интенсивности теплообмена, наблюдающееся по причине образования слоя накипи на стенках промежуточных и концевых холодильников;

- неудовлетворительная работа градирных охладителей, особенно в жаркий период года, применяемые на сегодняшний день в предприятиях градирни не справляются с охлаждением оборотной воды, так как, применяемые на большинстве градирнях водоразбрызгивающие форсунки не обеспечивают требуемого распыления воды, что приводит к недоохлаждению циркулирующей воды;

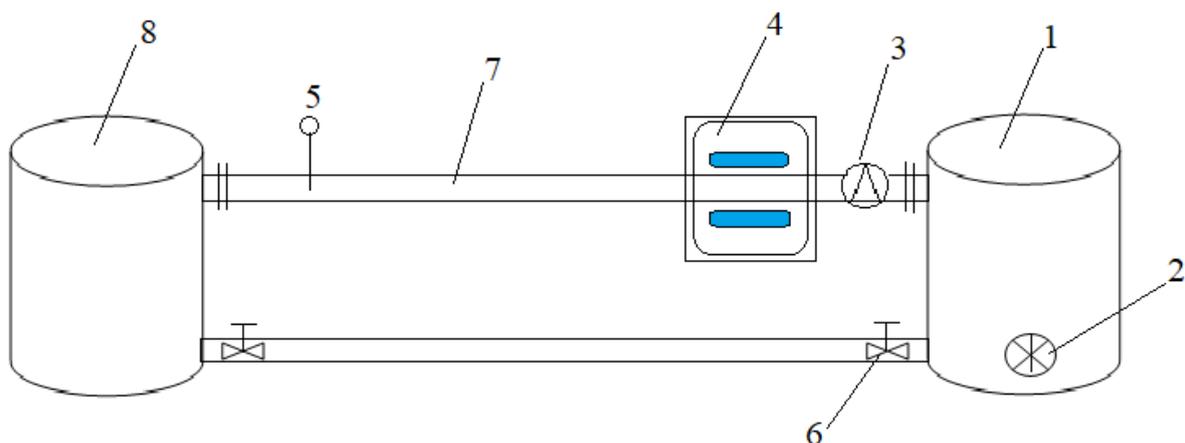
- повышенная температура атмосферного воздуха на входе к компрессорной установке, которая приводит к увеличению затрат электрической энергии на сжатие и снижению производительности.

С целью повышения энергетической эффективности эксплуатации поршневых компрессорных установок, исходя из выше указанных факторов, приводящих к снижению эффективности компрессорных установок, нами предлагаются нижеследующие технические решения.

Предотвращение образования слоя накипи на стенках промежуточных и концевых холодильников.

Повышение эффективности работы системы охлаждения компрессорных установок, возможно за счет интенсификации процесса теплообмена между охлаждаемым (сжатый воздух) и охлаждающим (вода) теплоносителями. Это, прежде всего, реализуется предотвращением отложений накипи и шлама в холодильниках. На сегодняшний день смягчение жесткости воды достигается химическим способом. Химический способ предотвращения образования накипи является эффективным, однако, требует постоянных затрат, сильно загрязняет окружающую среду и наносит вред здоровью обслуживающего персонала. Предотвращение образования накипи, возможно, за счет электромагнитной обработки оборотной охлаждающей воды.

Нами в лабораторных условиях разработана установка для электромагнитной обработки циркулирующей воды. С целью определения эффективности разработанной установки электромагнитной обработки циркулирующей воды, нами планируется проведение экспериментальных испытаний. Схематический вид экспериментальной установки приведен на рисунке 3.



**Рисунок 3.** Схематический вид экспериментальной установки при испытании устройство электромагнитной обработки воды.

1-ёмкость с электронагревателем, 2-регулятор температуры, 3-циркуляционный насос, 4-устройство для электромагнитной обработки воды, 5-точка замера температуры воды, 6-задвижка, 7-металлическая труба, 8-ёмкость с водой.

## Выводы

Экспериментальные работы планируется проводить в два этапа: первый этап - без применения устройства для электромагнитной обработки воды; второй этап с применением устройства для электромагнитной обработки воды.

Это позволит установить зависимость образования слоя накипи на поверхности теплообмена от температуры циркулирующей воды, с применением устройства для электромагнитной обработки воды и без его применения и моделировать процесс для обеспечения условий эффективной эксплуатации. Результаты экспериментальных исследований будут опубликованы позднее.

## **Библиография**

1. Миняев Ю.Н. Энергосбережение при производстве и распределении сжатого воздуха на горных предприятиях. // – Екатеринбург: Изд-во УГГУ, – 2010. – 138 с.
2. Джураев Р.У., Шомуродов Б.Х., Хатамова Д.Н., Тагирова Ю.Ф. Модернизация системы охлаждения поршневых компрессорных установок // Материалы IX Международной научно-технической конференции на тему: «Достижения, проблемы и современные тенденции развития горно-металлургического комплекса». – Навои, 2017. – С. 176.
3. Джураев Р.У., Меркулов М. В., Косьянов В. А., Лимитовский А. М. Повышение эффективности породоразрушающего инструмента при бурении скважин с продувкой воздухом на основе использования вихревой трубы. // Горный журнал. – Изд. «Руда и металлы». – Москва, 2020. – №12. С. 71-73. DOI: 10.17580/gzh.2020.12.16
4. Externalities of Energie. Vol. 2 – Methodology. Science Research European Comission. Brussel – Luxemburg, 1995. 125 p.
5. Merkulov M.V., Djuraev R.U., Leontyeva O.B., Makarova G.Y., Tarasova Y.B. Simulition of thermal power on bottomhole on the bases of experimental studies of drilling tool operation // International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. Volume 8, No.8, 2020. – pp. 4383-4389.

*A review of application of materials for controlling and preventing lose circulation on water-based muds*

*M.A.T.S. Al-Shargabi, National Research Tomsk Polytechnic University  
al\_shargabi@tpu.ru. A.H.A. Al-Musai, Petronas Technological University,  
ameen1778@gmail.com.*

**Abstract**

In the process of drilling, specialists often face the need to strengthen the wellhole when it is necessary to overcome unstable, loose soils and loss circulation. These conditions often slow down drilling, increasing project completion times and thus increasing the cost of the drilling. To stabilize the wellhole, a number of materials are used that, due to their properties, are capable of positively affecting the stability of the soil. Well stabilization polymer is a special type of material consisting of so-called macromolecules - high molecular weight compounds of monomer units. Such compounds have a number of common characteristics: elasticity, low brittleness, high viscosity when dissolved in a small amount, and dissolution through the swelling stage. Depending on the specific composition, the severity of these properties may vary. This review illustrates the various applications of wellbore strengthening and sums up the various filed practices were used for preventing and controlling of loss circulation. This review dedicates the various using of polymeric systems to control loss circulation materials (LCMs). Moreover, the review focuses on the use of nano-materials and the evaluation of use polymer gel are also reviewed.

**Keywords**

Wellhole strengthening, loss circulation, drilling, drilling fluids, polymeric systems.

**Introduction**

Loss circulation of drilling fluids is one of the most common types of well drilling complications. The annual time spent on eliminating this type of complications in the world amounts to many thousands of hours, despite the development and application of various methods of preventing and correcting of loss circulation of drilling. The loss circulation of the drilling fluid is explained by the excess of the pressure of the liquid column in the well over the formation pressure (the greater this difference, the more intense the absorption) and the nature of the lost circulation target. The rheological properties is one of the most important aspects in the development of drilling fluid and its performance characteristics to preventing and correcting of loss circulation. Adding nanoparticles and natural polymers such as starch to the drilling fluid is one way to change the rheological properties, one of the basic mechanisms in fluid loss prevention is shown in figure 1 [5]. Different rheological models are required to investigate and improve the behavior of the drilling fluid at different stresses. Models are implemented from part to part in the entire system. Thus, the use of one model is not suitable for studying the rheological properties of the drilling fluid under different stresses and conditions in the well [3]. The most famous method for preventing lost circulation is the use of starch, with the help of starch, the filtration of the wellbore is reduced, which prevents the ingress of salts and other substances into the pumped product. In addition, starch like potassium carboxymethyl is an environmentally friendly raw material, quite cheap, which makes the

product an indispensable element for drilling mud. Used starch, produced or rice, corn, rye, wheat, cassava and potatoes [2].

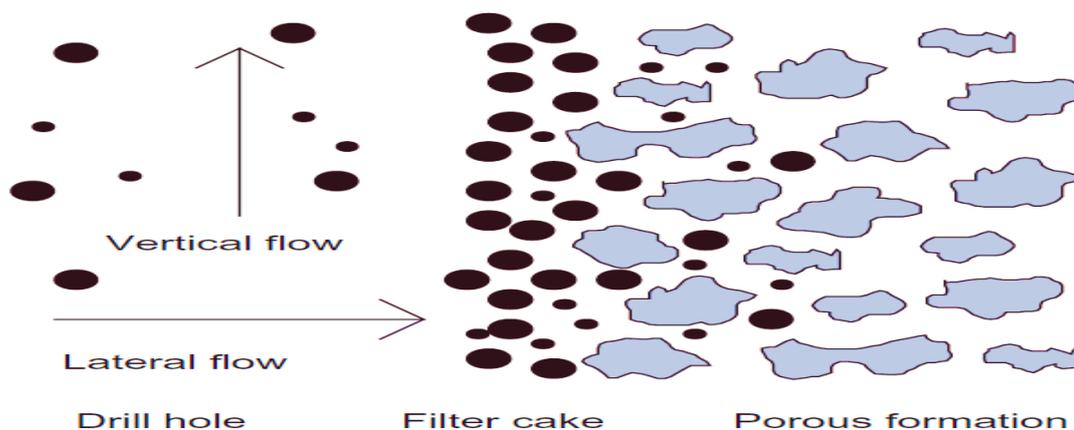


Figure 1. Basic mechanisms in fluid loss prevention [1]

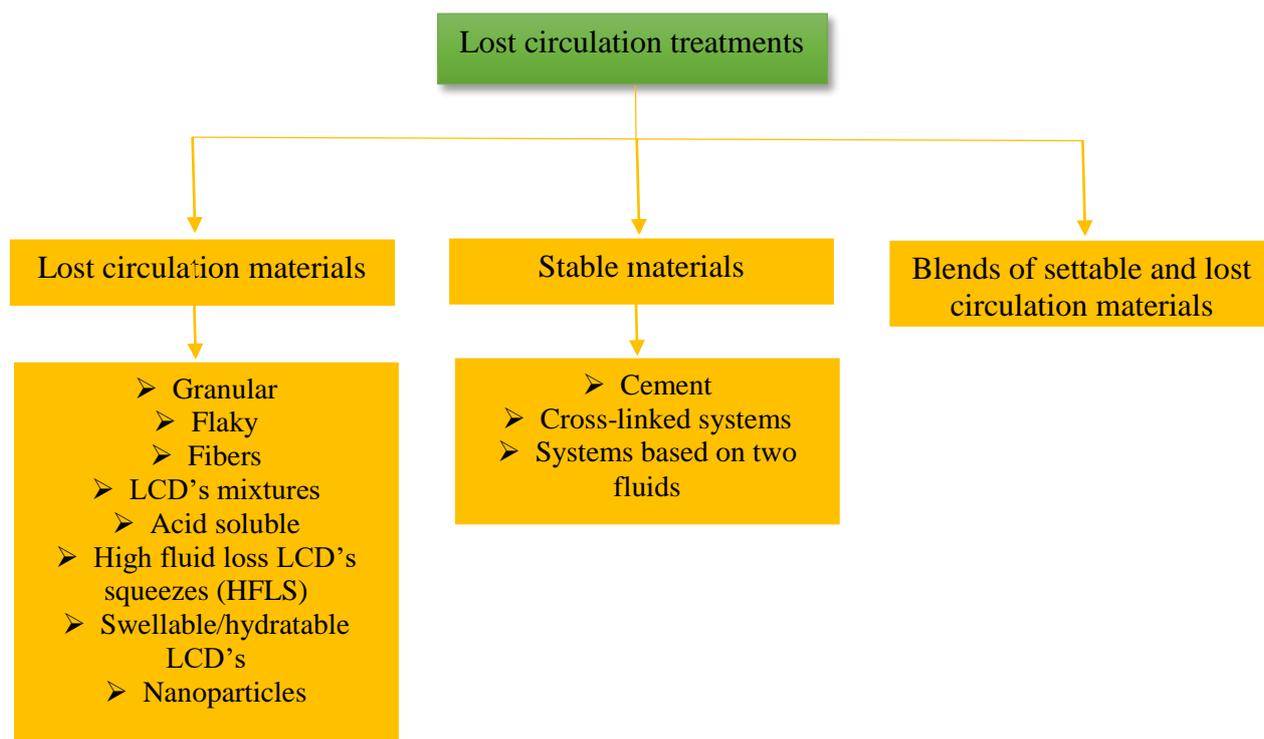
### Mechanism of action of fluid loss agents

Reducing fluid losses is achieved due to the fact that in some way the porous rock is plugged. Base mechanisms are presented in table 1.

Thus, it was demonstrated that microspheres can be used to estimate the crack aperture by introducing a sample of polydispersity microspheres [4].

Table 1.  
Mechanisms for preventing fluid loss

Types of materials	Mechanism
Chemical grouting	A resin is introduced into the formation, which solidifies irreversibly; suitable for large caves
Microscopic particles	Macromolecules structure a gel interlayer of the porous formation.
Macroscopic particles	Suspended cutting may be able to plug the pores, in addition to this permeability will be reduced

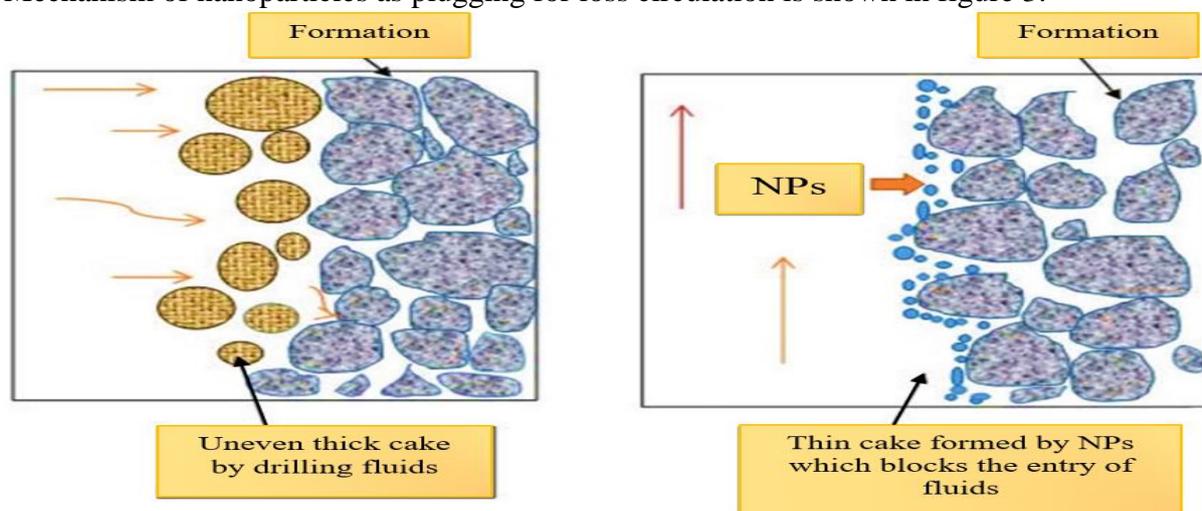


**Figure 2.** Classification of lost circulation treatments

Shows an abstract of the treatments for loss of circulation. Finally, in order to correctly select and design the optimal treatment to address and combat loss of circulation, the available data must be processed, analyzed and used. The information required includes the magnitude of losses, the type of loss mechanism, quantitative data on fractures and pores such as fracture openings, pore distance and size; geological conditions (pay zone, shale, loose sand, gravel, etc.) and for deep water formations the mud weight window is a critical parameter to be determined, classification of lost circulation treatments is shown in figure 2 [4,5].

**Mechanism of nanoparticles as plugging for loss circulation**

The most important properties of a drilling fluid is filtration control. Drilling depleted, deepwater and deviated formations results in regular huge mud losses and fluid intrusion. Mechanism of nanoparticles as plugging for loss circulation is shown in figure 3.



**Figure 3.** Mechanism of nanoparticles as plugging for loss circulation

*Table 2.*  
*Summary of the recent types of NPs for LCDs [1]*

Types of NPs	Based fluids	Modified properties
Copper oxide Magnesium oxide Aluminum oxide	Water	Improving rheological properties Improving filtration characteristics
CNT–polymer nanocomposite	Water	Improving rheological properties Improving wellbore stability Improving filtration characteristics for HPHT drilling application
Iron oxide	Water	Improving filtration characteristics at high temperature
Silicon dioxide	Water	Improving rheological properties Improving filtration characteristics
Nanopolymer	Water	Improving filtration characteristics Wellbore strengthening application
Titanium oxide	Water	Improving rheological properties Improving thermal and electrical conductivity Improving filtration characteristics
Zinc titanate	Water	Improving rheological properties Improving thermal stability

Nanoparticles added to the drilling fluid form a filter cake of minimum thickness, since the volume of filtrate entering the formation is very small due to low permeability and low porosity. Moreover, due to the relatively small size of the nanoparticle, it can penetrate into the pores of the formation and prevent the penetration of liquid, summary of the recent types of NPs for LCDs is shown in table 2.

## Conclusion

Nanoparticles for LCDs have shown that nanotechnology has recently become an attractive research topic, and many studies have shown very promising results in terms of their characteristics and effectiveness. Based on a review of the literature, the following conclusions were drawn:

✚ The most widely studied nanoparticles, which have shown significant improvement for various applications in the oil and gas industry, turned out to be nanosilica ( $\text{SiO}_2$ ), followed by aluminum oxide ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), suggesting their high potential for applications in this area.

✚ The investigated nanoparticles showed a significant positive effect on both the rheological and filtration characteristics of drilling fluids, as well as improving the thermal stability of drilling fluids.

✚ Polymer nanocomposites, and ionic liquids with high thermal stability are considered promising shale gas inhibitors for future applications in drilling oil and gas reservoirs. However, it is necessary to consider the practical application of ionic liquids, copolymers and nanocomposites as shale inhibitors in additives to drilling fluids. Consideration should be given to the cost of synthesis of copolymers and polymer nanocomposites, their toxicity and hazard analysis for real applications. Although there is limited literature on copolymers, polymer nanocomposites and ionic fluids as shale inhibitors, laboratory analyzes of shale inhibition have shown them to be a strong candidate for shale inhibitor applications in water-based drilling fluids.

## Bibliography

1. A comprehensive review of nanoparticles applications in the oil and gas industry, Mortadha T. Alsaba · Mohammed F. Al Dushaishi · Ahmed K. Abbas, <https://doi.org/10.1007/s13202-019-00825-z>, 4-11 p.
2. Alaskar MN, Ames MF, Connor ST, Liu C, Cui Y, Li K, et al. Nanoparticle and microparticle flow in porous and fractured media-an experimental study. SPE J 2012;17(4):1160-71. doi:10.2118/146752-pa.
3. Al-Shargabi M. A. T. S., Almusai A. Kh., Vazea A. A. Sh. A. Stages and mechanism of clay swelling during well drilling // Scientific community of students of the XXI century. Natural Sciences. - 2018. -- S. 47-52.
4. Limo Salehnezhad, Amir Heydari, Moslem Fattahi. Experimental investigation and rheological behaviors of water-based drilling mud contained starch-ZnO nanofluids through response surface methodology. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.11.142>. 2019 (1 - 14).
5. Ryen Caenn, George R., in Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids (Seventh Edition), 2015,7(2), 63–29.
6. S. Q. Liu: Synthesis and properties of potassium carboxymethyl starch for oilfield drilling. Drill Fluid Complet. Fluid. 1988, 5(3), 27–29.

***Анализ эффективности использования интеллектуальных скважин в бурении на  
Ватинском месторождении***

***Холиков И.Х.\* Российский государственный геологоразведочный университет  
имени Серго Орджоникидзе (МГРИ) [islom.kholikov24@mail.ru](mailto:islom.kholikov24@mail.ru). Научный  
руководитель: д.т.н., профессор Соловьев Н.В.***

**Аннотация**

В работе рассмотрены элементы интеллектуальных технологий, преимущества и порядок их эксплуатации. Приводится уточнение определения «интеллектуальной скважины», а также важности применения «интеллектуальных» концепций и технологий к скважинам в нефтегазовой отрасли. Дается обоснование условий применения и назначения комплексов реализации интеллектуальных технологий в составе скважинного оборудования и его основных характеристик. Работа содержит всесторонний обзор технологий, связанных с интеллектуальными скважинами при бурении и заканчивании, а также рассматривает различные направления использования возможностей интеллектуальных скважин и приоритетных технологических решений, доступных для каждого этапа их создания. Такие технологические решения обосновываются в плане их применения для решения конкретных задач на Ватинском месторождении.

**Ключевые слова**

Интеллектуальные скважины, бурение, нетрадиционные пласты, заканчивание месторождения, технологический мониторинг, технологический процесс.

**Теория**

Интеллектуальные скважины - скважинные данные автоматически интерпретируются компьютером с соответствующим программным обеспечением. Вмешательство человека не требуется. Однако для создания систем интеллектуальных скважин требуются большие цифровые данные по различным технологическим процессам, связанным с бурением и освоением скважин на углеводороды. Такие массивы технологических данных позволяют создать математические модели технологических процессов, адекватно отражающих взаимозависимость их параметров и которые могут быть положены в основу создания программного обеспечения систем интеллектуальных скважин и применять в реальных технологических процессах умные технологии, в основу которых положены статистические выборки в виде цифровых моделей, отражающих исследуемые зависимости.

Поэтому умные технологии необходимо применять на ранних стадиях освоения месторождений углеводородов с использованием скважин, а именно при бурении скважин. Конечная цель рационального бурения - снизить затраты на бурение за счет уменьшения количества скважин и доступа к большей части продуктивной зоны с пробуренным стволом [2]. Основная задача операторов заключается в использовании технологических возможностей программного обеспечения и оборудования интеллектуальных скважин для выбора оптимальной стратегии углубки и освоения продуктивных коллекторов и обеспечении способности технологических комплексов производить добычу углеводородов более чем из одной скважины. . Нами проанализированы возможности интеллектуального метода бурения - метода - Fishbone.

Этот метод бурения является одной из новейших интеллектуальных технологий, которые используются при бурении горизонтальных скважин. Fishbone может быть получен путем бурения каждого ответвления с использованием усовершенствованных систем роторного управляемого бурения или путем установки ряда ребер внутри бурильной трубы, которые проникают в пласт с помощью операции кислотного воздействия. Технология Fishbone помогает подключать дальние точки пласта непосредственно к стволу скважины и достигать большей площади дренажа. Ребра помогают достичь большего воздействия, что приводит к увеличению добычи из одной скважины. Они также помогают увеличить чистую приведенную стоимость (NPV) нефтяных и газовых горизонтальных добывающих скважин за счет увеличения продуктивности скважины, особенно в коллекторах с низкой проницаемостью и сложных пластах. В дополнение к этому, количество пробуренных скважин меньше при использовании технологии Fishbone, потому что большая площадь дренажа достигается из одной скважины Fishbone. Другим основным преимуществом является обеспечение правильного размещения трещины, обеспечение раскрытия трещины и повышение эффективности транспортировки жидкости из пласта в ствол скважины, в отличие от методов множественных трещин и гидроразрывов. Это привело бы к задержке падения продуктивности скважины [3]. Более того, операции по производству рыбных костей считаются более эффективными по сравнению с несколькими и гидравлическими разрушениями, когда речь идет о времени операции и общей экономике проекта [4].

*Технологическое обоснование системы «Перфобур- Fishbone»*

В компоновку перфобура также можно включить автономный инклинометр позволяющий регистрировать положения КНБК. Стоимость строительства одного канала протяженностью 14 м, с геофизическими исследованиями составляет 1,2...1,5 млн. рублей. Анализируя приведенные технологии строительства многоствольных скважин и принимая во внимание геологическое описание нефтеносных пластов Алымской свиты Ватинского месторождения, можно сделать вывод о целесообразности бурения дополнительных стволов методом перфорационного бурения. Эта технология обладает значительным преимуществом перед своими аналогами – это возможность бурения по прогнозируемой траектории и возможность ориентирования оборудования на забое скважины, что позволяет бурить до 4-х каналов в пределах одного пласта, тем самым способствуя интенсификации притока нефти в скважин.

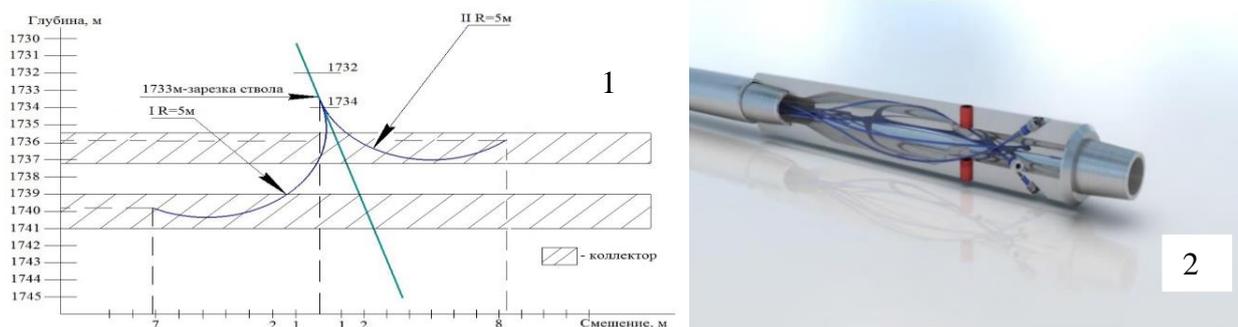
*Таблица 1  
Исходные данные для расчета профиля каналов*

Величина	Значение
Интервал продуктивного пласта:	
- по вертикале, м;	1730-1760
- по стволу, м	1841-1874
Зенитный угол основного ствола в кровли продуктивного пласта, град	17,2
Азимутальный угол основного ствола в кровли продуктивного пласта, град	220
Радиус кривизны перфорационного канала, м	

Реализация данной технологии на скважине сводится к осуществлению следующих основных операций:

1. Определение интервала резки бокового канала с учетом выбранной компоновки перфобура;
2. Вырезка окна в обсадной колонне или ее участка в заданном интервале;
3. Спуск на искусственный забой и ориентирование по азимуту якоря и клин-отклонителя;

4. Спуск в скважину собранной компоновки перфобура и бурение радиального канала на заданную глубину.



**Рисунок 1.** Профиль перфорационных каналов в апсидальной плоскости, 2-Секция «Fishbones» с трубками из титанового сплава, размещенными в корпусе устройства

Таблица 2  
Параметры профилей каналов

Параметр	I тип	II тип	III тип
$L_{\text{кан}}$	12,0	11,7	12,0
$R, \text{ м}$	5,0	5,0	5,0
$\alpha_{\text{нач}}, \text{ град}$	-17,2	17,2	0*
$Z_{\text{заб}}, \text{ м}$	1733,0	1733,0	1734,0
$Z_{\text{кон}}, \text{ м}$	1739,8	1735,9	1737,4
$H_{\text{гор}}, \text{ м}$	7,3	9,1	8,7
$\alpha_{\text{кон}}, \text{ град}$	120,3	151,1	137,5

\*- определен относительно основного ствола в рассматриваемой плоскости.

## Выводы

Рассмотренная технология перфорационного бурения обладает рядом преимуществ против традиционного способ строительства многоствольных скважин, таких как увеличенная площадь фильтрации флюида, уменьшение межремонтного периода эксплуатации скважин, сокращение времени строительства, затрат на материалы и др. Все это ведет к сокращению затрат на строительство скважин с одной стороны и интенсификации притока нефти в скважину с другой. Оба этих фактора в свою очередь оказывают положительное влияние на увеличение прибыли нефтяных компаний, что подтверждает произведенный выше расчет.

## Литература

- 1.Orlov D, Enikeev R, Nazipov D, et al. Well Placement Application to Drill Fishbone Well on Russkoe Field. Moscow, MC; Society of Petroleum Engineers; 2007.
- 2.Chan KS, Masoudi R, Karkooti H, Shaedin R, Othman MB. Production Integrated Smart Completion Benchmark for Field Re-Development. Qatar QT: International Petroleum Technology Conference; 2014.
- 3.Xiance Y, Guo B. A Comparison between Multi-Fractured Horizontal and Fishbone Wells for Development of Low-Permeability Fields. Indonesia, IN: Society of Petroleum Engineers; 2009.
- 4.Hassan A, Abdulraheem A, Elkatatny S, Ahmed M. New Approach to Quantify Productivity of Fishbone Multilateral Well. Texas, TX: Society of Petroleum Engineers; 2017.

5. Лягова М.А. Компоновка перфобура для бурения глубоких каналов специальными винтовыми двигателями малого диаметра: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.13 / Лягова Марина Александровна. – Уфа, 2012. –167 с.

**Распараллеливание действий роботов при СПО**  
**Крылков М.Ю. (МГРИ, m.krylkov@mail.ru)**

**Аннотация**

Рассматривается более эффективная автоматическая технология спуско-подъёмных операций (СПО) при бурении по сравнению с действующей.

**Ключевые слова**

Манипулятор, механизм, манипулятор промышленного робота, передаточная функция, схват инструмент, математическая модель, управление приводом.

**Теория**

Манипуляционным роботом (МР), роботом-манипулятором называется робот, выполняющий действия, подобные (в некотором смысле) тем, которые совершает человек при работе рукой (руками). Манипулятор («механическая рука МР») - рабочий орган МР – это мехатронная система, преобразующая сигналы управления (СУМ) в механические перемещения рабочего органа манипулятора, а также установленного на манипуляторе оборудования (рис.1).



**Рисунок 1.** Роботы (манипуляторы) в автоматизированных буровых установках FL262 FREEDOM™ Loader and LF™160 Surface coring drill rig фирмы Boart Longyear.

В современных буровых установках используется *контурное управление* МР, например, головкой верхнего привода, т.е. управление исполнительным устройством, при котором движение его рабочего органа происходит по заданной траектории с установленным распределением во времени значений скорости и с переходами на *позиционное управление* (рис.1). Позиционное управление роботом – это управление исполнительным устройством робота, при котором движение его рабочего органа происходит по заданным точкам позиционирования без контроля траектории движения

между ними. Например, перед свинчиванием бурильной трубы она позиционируется соосно с головкой верхнего привода.

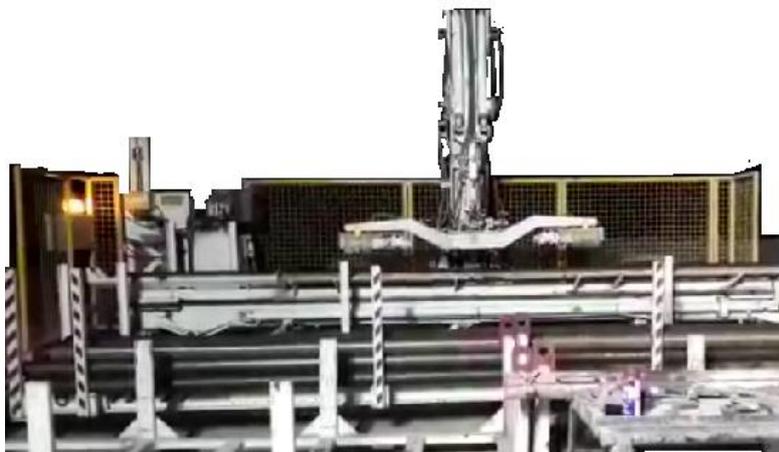


*Рисунок 2. Бурильная труба в руке манипулятора.*

В нашем случае такими точками позиционирования являются позиции вспомогательного манипулятора для передачи бурильной трубы роботу трубоукладчику и для соединения с головкой верхнего привода (рис.1) или непосредственно позиции руки манипулятора (рис.2).

При этом управление буровыми роботами (головкой верхнего привода бурового станка и рукой манипулятором) осуществляется одновременно, с остановками в контрольных точках, связанными с передачей бурильной трубы от одного робота другому (роботу трубоукладчику и наоборот). Это управление буровыми роботами, осуществляемое путём координации их управляющих воздействий.

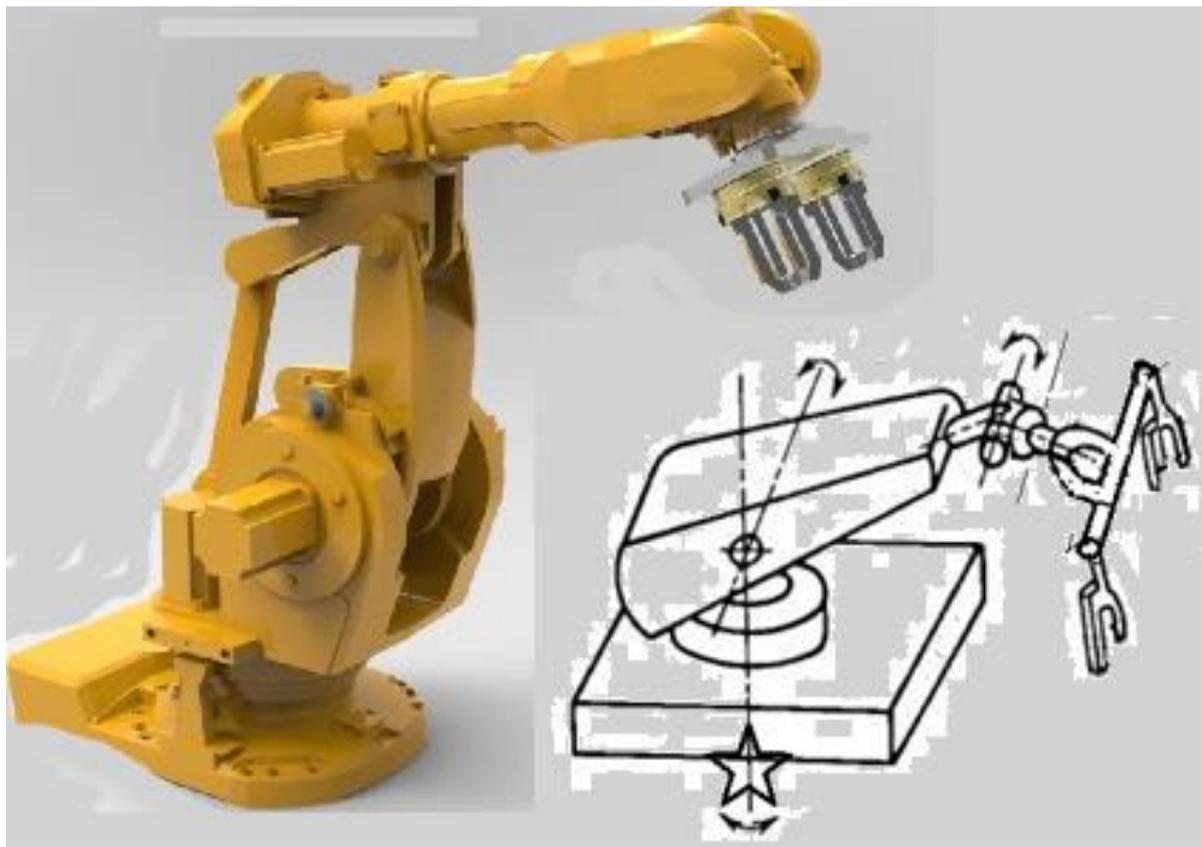
Преобразования движения манипуляторов для стыковки в контрольных точках (например, манипулятора подачи бурильных труб и манипулятора укладчика) в движение электро-гидроприводов предварительно осуществляется с помощью обучения САУ.



*Рисунок 3 Робот рука-манипулятор для укладки и подачи роботу-манипулятору, обслуживающему головку верхнего привода.*

САУ манипуляционными роботами включает электрические и гидравлические двигатели, редукторы, датчики обратной связи, микропроцессоры и аналоговые устройства. Манипулятор (механизм), образованный сочленением двигателя характеризуется разными степенями подвижности (рис.4).

Манипулятор включает в себя три подсистемы: исполнительный механизм манипулятора, рабочий орган (захватное устройство манипулятора – ЗУМ), и систему приводов манипулятора. *Рабочий орган манипулятора* – это устройство для захватывания и удержания объектов манипулирования (в нашем случае это бурильные трубы). Другое название ЗУМ – схват.



**Рисунок 4.** Вращательные сочленения (шарниры).

Для свободного перемещения и ориентации в пространстве бурильной трубы, удерживаемой схватом, манипулятор должен иметь не менее шести степеней подвижности. В современных обучаемых манипуляционных роботах применяются исполнительные механизмы (ИМ), включающие, в основном, вращательные кинематические пары (КП). Вращательные КП 5-го класса иначе называют *шарнирами* или *сочленениями*.

Манипулятор-механизм, должен обладать достаточным числом степеней подвижности. Он предназначен для перемещения и ориентации объектов в рабочем пространстве. Рабочий орган (инструмент) промышленного робота составная часть манипулятора промышленного робота для непосредственного выполнения технологических операций или вспомогательных переходов. Схват инструмент,

предназначен для захвата объектов определённой формы (с учетом материала из которого они изготовлены, конкретно, – это стальные бурильные трубы) [3,4].

Манипулятор как манипуляционный механизм и система управления, образованная приводами, работают на общую механическую нагрузку.

Вход системы - многокомпонентный сигнал, поступающий с устройства управления. Выход системы - требуемое перемещение манипулятора, схвата без или с нагрузкой от рабочего инструмента.

Функционально приводы манипуляторов чаще всего являются *слеящими* (СП), т.е. используют в основе своей работы разности между прикладываемыми извне управляющими воздействиями, соответствующих требуемым значениям выходных координат, и реальными значениями координат, формируемыми на основе показаний датчиков сигналов обратных связей.

Слеящие приводы - обязательные компоненты МР большинства промышленных роботов [1]. Суммарные перемещения ИМ происходят в результате работы всех приводов.

В нашем случае (рис.4) пространственный поворот ЗУМ является композицией трех элементарных поворотов. Матрица композиции этих преобразований может быть получена путем перемножения матриц элементарных поворотов [3,4].

## Выводы и предложения

Итак, что же предлагается:

1. Добавление руке-манипулятору дополнительной степени свободы, позволяющей ей вращаться в горизонтальной плоскости (на рис.4 она обозначена звездочкой). Для перемещения бурильной трубы в расширенное рабочее пространство хорошо иметь также и привод для поступательного движения МР.

2. Технология укладки/взятия на стеллаж бурильных труб должна идти параллельно с операциями развинчивания/свинчивания. При значительной глубине скважины, имеет смысл использовать буровую вышку и дополнительный МР.

3. Управление поворотами осуществлять на базе электродвигателей переменного тока [2]. Гидропривод же нужен для подвижного вращателя и его позиционируемой головки, а также для производства монтажно-демонтажных работ, выравнивания буровой установки и погрузки её на трейлер при переездах на новые точки бурения.

Более того для автоматизации вспомогательных операций при выполнении СПО сегодня следует выбирать высокодинамичные электроприводы привода на базе асинхронных двигателей (АД) с короткозамкнутым ротором и цифровым векторным управлением [2]. Согласно определению привода в его модель для руки манипулятора следует отнести электродвигатель, редуктор и бурильную трубу. Для привода вращателя – гидромотор вращательного типа, плюс гидроцилиндры для передачи осевой нагрузки. Электрическая и механическая подсистемы приводов непрерывно находятся во взаимодействии. Они должны работать не последовательно, а там где возможно – параллельно.

Для привинчивания и отвинчивания бурильных труб к бурильной колонне труб (КБТ) используется трубооборот, соответствующий её типу.

САУ СПО должна быть легко обучаемой (настраиваемой) бурильщиком оператором, ибо расположение роботов манипуляторов, стеллажей бурильных труб в полевых условиях зачастую определяется конфигурацией и размерами конкретной буровой площадки.

## **Библиография**

1. Бессекерский В. А. Теория систем автоматического регулирования. / В. А. Бессекерский, Е. П. Попов. – М.: Наука, 1978. – 450 с.
2. Крылков М.Ю., Таруленков К.А. Определение передаточной функции при экстремальном регулировании бурения на твёрдые полезные ископаемые стационарными буровыми установками. Москва. МГРИ. IX Международная научная конференция молодых ученых «Молодые - Наукам о Земле». 30-31 марта. 2020г.
3. Лесков А.Г. Манипуляционные роботы Конспект лекций по курсу. «Основы робототехники». МВТУ, Кафедра Специальная робототехника и мехатроника. г.Москва 2018 г.
4. Эльяш Н.Н. Основы робототехники: учебное пособие (конспект лекций). Екатеринбург: , 2016. 49с.

*Application of Artificial Neural Network to predict Rate of Penetration during drilling operation for several wells in Nam Rong – Doi Moi oil field, Vietnam.*

*Tien Hung Nguyen, Hong Duong Vu (Hanoi University of Mining and Geology, nguyentienhung.dk@humg.edu.vn)*

**Abstract**

Obtaining the maximum Rate of Penetration (ROP) by optimization Drilling parameters is the aim of every drilling engineer. This is because it could save time, reduce cost and minimize drilling problems. However, ROP depends on a lot of parameters which lead to difficulties in its prediction. In this study, a new approach using Artificial Neural Network (ANN) has been proposed to predict ROP from real – time drilling data which include important parameters such as weight on bit (WOB), weight of mud (MW), rotary speed (RP), stand pipe pressure (SPP), flow rate (FR), torque (TQ) . This study was applied to several wells in Nam Rong - Doi Moi oil field, Vietnam. The ANN model shows acceptable accuracy when comparing to actual ROP, therefore it can be recommended as an effective and suitable method for ROP prediction in Nam Rong – Doi Moi oil field, Vietnam.

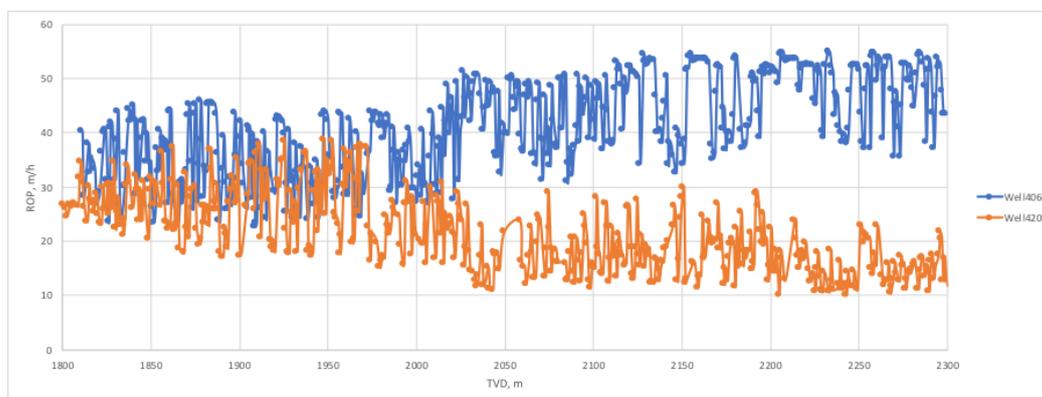
**Keywords**

Rate of Penetration, Drilling optimization, Artificial Neural Network,

**Methodology**

Nam Rong - Doi Moi oil field is located on Vietnamese continental shelf, under the management of Vietsovpetro joint venture. Exploration wells in this field are characterized by the drilled interval of 311 mm in bit diameter through the Miocene and Oligocene strata. In this drilled interval, boreholes have great length up to 2200 m which leading to complicated construction. There were a lot of problems here relating to well instability due to high content of montmorillonite clay minerals (~ 60%) [1], wells in the state of open hole for the long time. Therefore, the prediction of ROP is an important step to minimize the risk of complications, save time and reduce well construction costs.

The target of this study is to predict ROP from real drilling data in the depth interval from 1800 - 2300 m in Miocene strata of Well 406 and Well 420, Nam Rong - Doi Moi field, Vietnam (Table 1). In particular, Well 406 was drilled by Baker Hughes with the PDC QD65X bit and Well 420 was drilled by Schlumberger using a PDC MRS519HBPX bit, both of them was combined to the rotary steerable system (RSS).



**Figure 1.** ROP data of 406 and 420 Well in Nam Rong – Doi Moi field

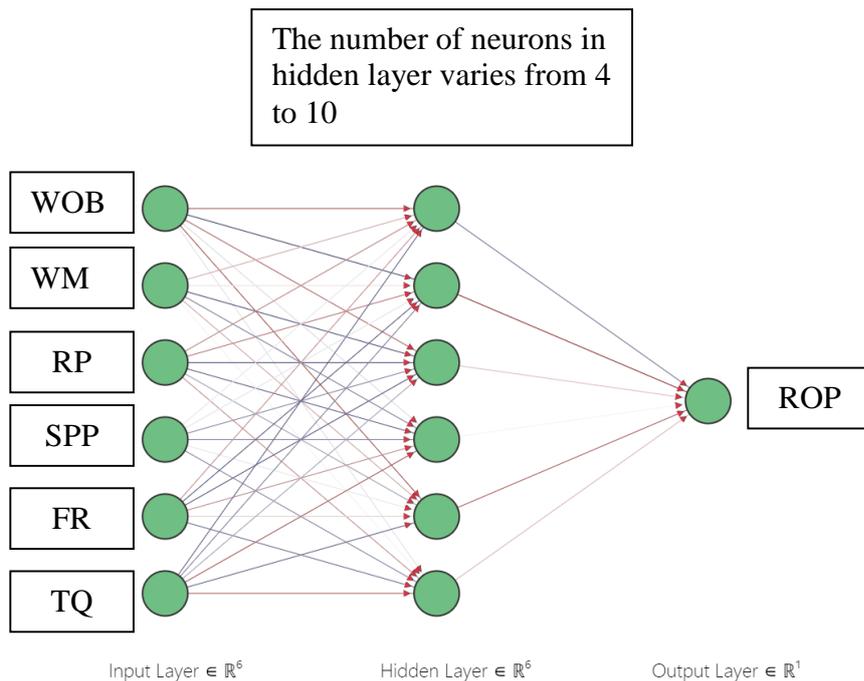
Table 1.  
Data statistical analysis from real drilling data of 406 and 420 well

Parameters		Well 406-RCDM	Well 420RC	Total
Number of core sample		511	472	986
TVD	Top	1800	1800	1800
	Bottom	2300	2300	2300
ROP(m/hr)	Min	22.74	10.03	10.03
	Max	54.85	38.75	54.85
	Mean	41.73	21.4	31.94
	Standev	8.67	6.87	12.84
WOB (ton)	Min	5.51	0.16	0.16
	Max	16.35	5.53	16.35
	Mean	10.41	2.1	6.41
	Standev	2.52	0.78	4.56
RPM(revs/mn)	Min	116	100	100
	Max	135	166	166
	Mean	131	134	132.44
	Standev	5.28	12.04	9.3
TQR(kg.m)	Min	1582	189.2	189.2
	Max	2478	3215.5	3215.5
	Mean	2068.75	2731.1	2387.5
	Standev	180.24	255.47	397.29
FR (l/s)	Min	42.8	45.3	42.8
	Max	57.62	62.11	62.11
	Mean	56.36	57.63	56.97
	Standev	3.06	2.34	2.8
SPP (atm)	Min	98.5	111.52	98.5
	Max	134.7	235.81	235.81
	Mean	120.95	181.31	98.5
	Standev	8.09	21.91	34.28
Mw (kg/l)	Min	1.11	1.07	1.07
	Max	1.2	1.16	1.2
	Mean	1.15	1.11	1.135
	Standev	0.028	0.027	0.035

Table 1 shows there is a huge different between ROP achieved from wells using bit of 2 constructors: Baker Hughes and Schlumberger, ROP mean are 41.73 m/h and 21.4 m/h in Well 406 and Well 402, respectively. It can be due to these contractors used different bit and drilling parameters. Therefore, proposing an accurate prediction method of ROP based on drilling parameters is indeed necessary.

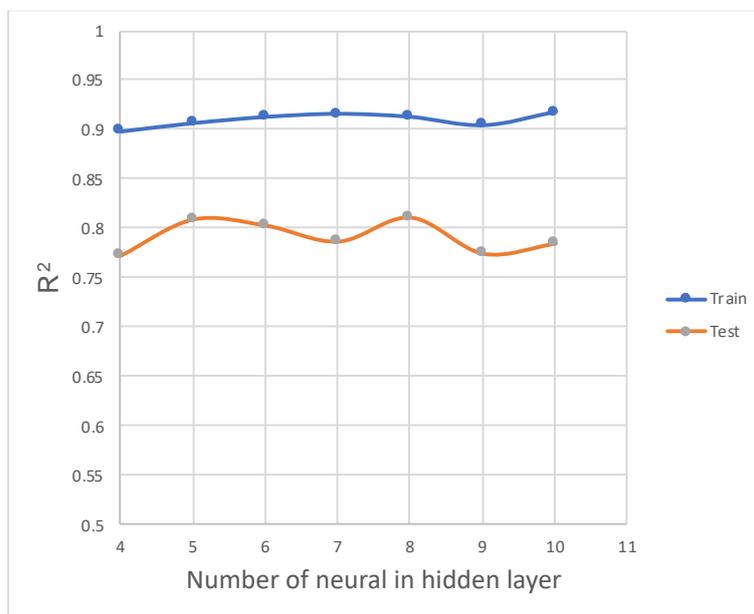
In this study, we propose an ANN using back-propagation [2] training algorithm and tansig activation function to predict ROP based on real drilling data of 2 well: 406 and 420 in Nam Rong - Doi Moi field. The data set consists of 989 samples including several parameters which are Rate of penetration (ROP), weight on bit (WOB), weight of mud (MW), rotary speed (RP), stand pipe pressure (SPP), flow rate (FR), torque (TQ), 70% of the input data used for network training and 30 % for testing process. The ANN model consists of 6 inputs (WOB, FR, RP, SPP, MW, TQ) with one hidden layer and one target (ROP, m/h) [3, 4]. Different scenarios

are conducted to optimize the number of neural in hidden layer to get the highest accuracy (figure 2).

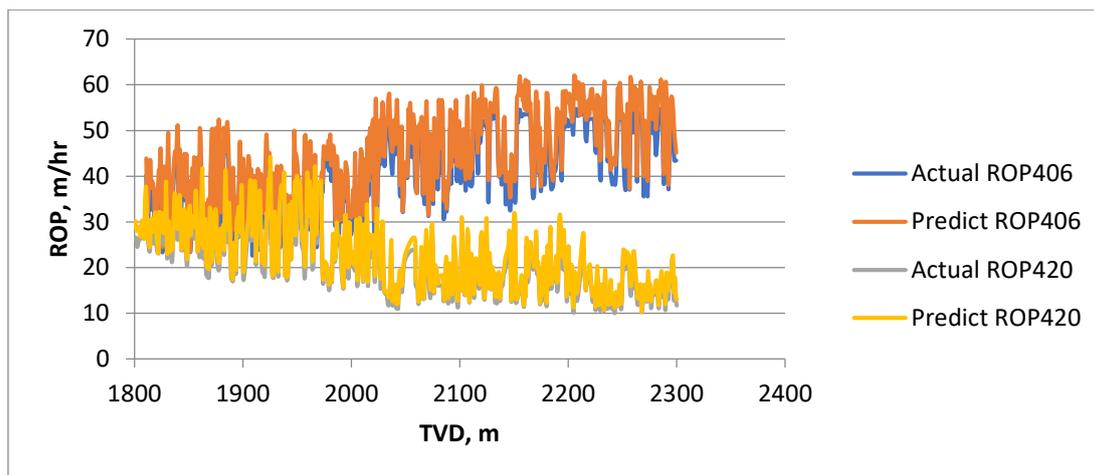


**Figure 2.** ANN model to predict ROP

The final results shows the ANN model which using 8 neurons in hidden is the best model, achieving the highest correlation coefficient,  $R^2$  are 0.912 và  $R^2$  and 0.81 for training and testing, respectively (Figure 3).



**Figure 3.** Correlation coefficient  $R^2$  versus number of neurons in the hidden layer



**Figure 4.** ROP prediction using ANN model and actual ROP

The ANN model shows acceptable accuracy when comparing to actual ROP (figure 4), therefore it can be recommended as an effective and suitable method for ROP prediction in Nam Rong – Doi Moi oil field, Vietnam.

## Conclusion

Base on initial obtained results of this study, ANN shows the ability to predict ROP from several drilling parameters with high accuracy and can be used as an effective method to optimize drilling parameters in order to achieve the best ROP. The proposed ANN model in this paper could be used for other well in Nam Rong – Doi Moi field. However, we recommend for future work, training data should be updated from new wells to increase the model accuracy.

## References

1. Соловьев Н.В., Нгуен Тиен Хунг. Разработка элементов эффективной технологии бурения скважин на месторождениях углеводородов предприятия «Вьетсовпетро». Научно-технический журнал «Инженер-нефтяник». 2015. –No2. -С. 45-49.
2. Shahab Mohaghegh. Part 1 - Artificial Neural Networks, Virtual-Intelligence Applications in Petroleum Engineering. Journal of Petroleum Technology. 2000. P. 64-73.
3. Sridharan Chandrasekaran, G. Suresh Kumar. Drilling Efficiency Improvement and Rate of Penetration Optimization by Machine Learning and Data Analytics. International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences. 2020. Vol. 5, No. 3, P. 381-394.
4. Reda Abdel Azim. Application of artificial neural network in optimizing the drilling rate of penetration of western desert Egyptian wells. Springer Nature Switzerland AG. 2020. Article number: 1177.

*Автоматизация процесса измерения глубины скважин  
Азмамбетова Э.А.\* (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе,  
azmamбетова.elvina@yandex.ru), Алимова М.М. (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе,  
munisaalimova999@gmail.ru), Овезов Б.А. (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе,  
ovezovba@mgri.ru), Соловьев Н.В. (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе,  
solovyevnv@mgri.ru)*

## Аннотация

На сегодняшний день проблема погрешностей в определении глубины всех видов скважин, обусловленных спускоподъемными операциями, актуальна на буровых установках. Из-за спускоподъемных операций происходят некоторые деформации труб, приводящие их к удлинению. Устранение погрешностей произойдет за счет устранения фактора человеческой ошибки путём применения лазерных измерителей для замера длины труб.

## Ключевые слова

Погрешность, глубина, автоматизация, скважины, буровая установка.

## Источники финансирования

Исследование проводится при поддержке Фонда содействия инновациям по договору 710ГУЦЭС8-D3/63777 от 15.12.2020 г.

## Теория

На сегодняшний день проблема возникновения грубых погрешностей в определении глубины всех видов скважин, обусловленных спускоподъемными операциями, распространена на буровых установках. Суть проблематики в том, что персонал не делает повторные замеры после каждой спускоподъемной операции. В следствии чего, возникают большие погрешности, которые приводят к тому, что ствол скважины может не попасть в продуктивный коллектор или подсечь водоносный горизонт из-за неправильно рассчитанной длины скважины. Поэтому задачей проекта является устранение погрешностей в определении глубины всех видов скважин, обусловленных спускоподъемными операциями, путём автоматизации процесса измерения глубины скважин.

Крупные игроки рынка систем автоматизации уже задумываются о путях решения данной проблемы и внедряют новые технологии для улучшения старых методов. Среди распространенными технологий измерения глубины скважин можно выявить:

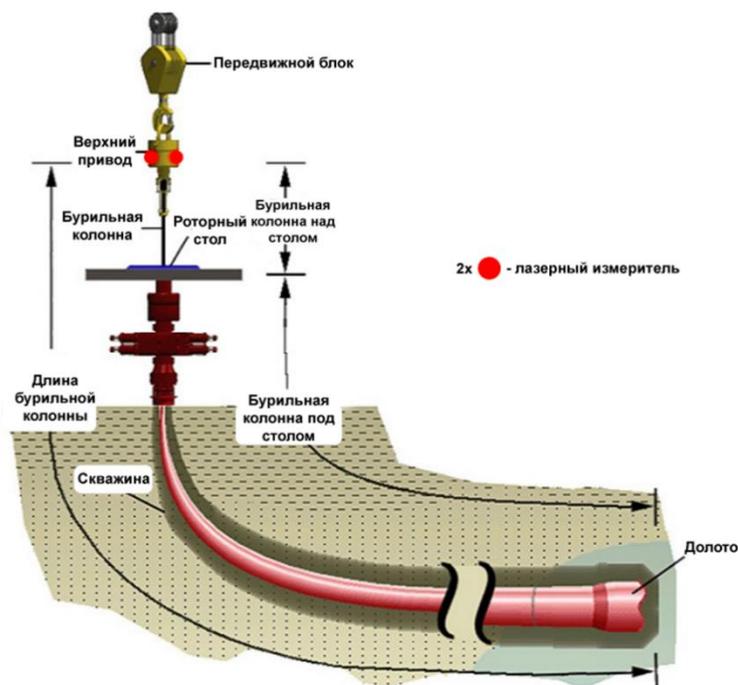
- способ определения глубины скважины, выполняемый без использования каротажного кабеля или бурового инструмента [1];
- способ измерения глубины скважины который состоит в том, что в скважину на каротажном кабеле спускают геофизический прибор [2];

- способ измерения глубины скважины при геофизических исследованиях [3], основанный на разметке обсадной колонны по ее длине магнитными метками и счете этих меток
- способ слежения за местоположением инструмента в буровой скважине [4], включающий получение первого изображения скважины, используя устройство формирования изображения, связанное с инструментом.

Нынешние измерения буровых труб проводятся преимущественно вручную и не позволяют достичь максимальной точности в замере длины буровых труб. Нефтегазовые компании концентрируются на усовершенствовании дорогих геофизических приборов.

Учитывая актуальность использования наклонно-направленных скважин в силу того, что они по производительности значительно превосходят вертикальные скважины [5], существует необходимость в применении методов, позволяющих повысить точность измерений вертикальной глубины и длины пути при геофизических исследованиях скважин. Для применения технологии точного измерения длины буровых труб в скважине необходимо создать новый метод подсчета длины скважин. Он будет основываться на поведении буровой колонны в процессе бурения и самой конструкции скважины.

Предлагается создать универсальную систему, состоящую из лазерного измерителя и программного обеспечения. Технически решение представляет собой хост-программу и приборную часть. Приборных частей может быть сколько угодно: это лазерное измерительное оборудование, способное отправлять сигнал на сервер с помощью Bluetooth или иметь возможность выгрузки ряда замеров. Хост-программа состоит из приложения и базы данных. В базе данных хранятся все замеры, приложение же позволяет как записывать данные в базу, так и оперировать с имеющимися. Прибор будет предназначаться для автоматизации замеров длины скважин, которая повысит точность замеров (длины труб) в 10<sup>3</sup> раз, снизит когнитивную нагрузку на буровую бригаду. Лазерная установка будет располагаться на роторном столе. После каждой спускоподъемной операции при свинчивании и развинчивании труб с помощью лазерного измерителя будет производиться замер длины трубы и заноситься в базу данных. В последствии при бурении скважины путем сложения длины всех труб и учета конструкции скважины будет получена длина скважины.



**Рисунок 2.** Расположение лазерного измерителя на верхнем приводе.

Данное решение позволяет не только убрать человеческий фактор в измерении глубины, но является экономически выгодным.

## Выводы

Актуальность проведения научно-исследовательской разработки в области измерения длины буровых труб, а затем с помощью них скважин заключается в том, что нефтегазовые месторождения сейчас представлены зачастую трудноизвлекаемыми запасами углеводородов. Толщина нефтенасыщенного коллектора может достигать 1-2 метров. Следовательно, для того, чтобы попасть в коллектор, требуется большая точность в измерении глубины скважин. Точность измерений достигается за счет применения геофизических приборов, а так же измерений длины скважины с помощью замера длины труб, находящихся в скважине. Инновационность разработки заключается в использовании нового метода подсчета длины буровых труб, основанного на технологиях измерения расстояний с помощью лазерных импульсов.

## Благодарности

Выражаю благодарность сотрудникам Российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе (МГРИ) за помощь в развитии научного проекта: проректору по международной деятельности и региональному сотрудничеству Машковой Анастасии Михайловне, заведующему кафедрой современных технологий бурения скважин, доктору технических наук, профессору Соловьеву Николаю Владимировичу, преподавателям кафедры современных технологий бурения скважин Овезову Батыру Аннамухаммедовичу и Щербаковой Ксении Олеговне, а так же студенту факультета технологии разведки и разработки Нестеренко Сергею.

## **Библиография**

1. Заявка на патент РФ №93055889, МПК G 01 V 1/40, опубл. 20.10.96 «Способ определения координат забоя скважины».
2. С.Г.Комаров Геофизические методы исследования скважин. - М.: Недра, 1973, с.272-278,
3. Патент на изобретение. 2298646 РФ. МПК E21B 47/04. Способ измерения глубины скважины при геофизических исследованиях / Масленников В.А., Марков В.А., Иванов О.В.
4. Муравьев В. М. Эксплуатация нефтяных и газовых скважин. М., «Недра», 1973, 381 с.
5. Коршак А.А., Шаммазов А.М. Основы нефтегазового дела: Учебник для вузов. - 3-е изд., испр. и доп. - Уфа.: ООО «ДизайнПолиграфСервис», 2005. - 528 с.

***Разработка параметров оперативной диагностики газонефтеводопроявлений при бурении скважин***

***Акыев Г. М.\* (Российский Государственный Геологоразведочный Университет имени Серго Орджоникидзе, g.akyuev@gmail.com)***

**Аннотация**

Проведен инженерно-технологический анализ и расчет параметров для предупреждения и ликвидации проявлений. Также проведен анализ существующих методов раннего обнаружения проявлений и методов борьбы с ним. Разработана методика расчета параметров оперативной диагностики газонефтеводопроявлений при бурении скважин, на примере Уренгойского месторождения. Результаты данной работы позволят минимизировать риски возникновения газонефтеводопроявлений, что способствует сохранению безопасности окружающей среды и жизням людей.

**Ключевые слова**

Газонефтеводопроявление, флюидопроявления, аномально высокие пластовые давления, параметры, бурение.

**Теория**

Газонефтеводопроявление (ГНВП) – это поступление пластового флюида в ствол скважины, не предусмотренное технологией работ при ее строительстве. Проявление является одним из самых опасных осложнений на всех этапах бурения скважины. Оно является таковым, в результате того, что возможен переход ГНВП в открытый фонтан.

Открытый фонтан – неуправляемое истечение пластового флюида через устье скважины, являющееся следствием нарушения нормального технологического процесса, вызванного прорывом пластовых флюидов на поверхность по стволу скважины или по заколонному пространству, когда обслуживающему персоналу невозможно регулировать поток.

Последствия открытых фонтанов таковы:

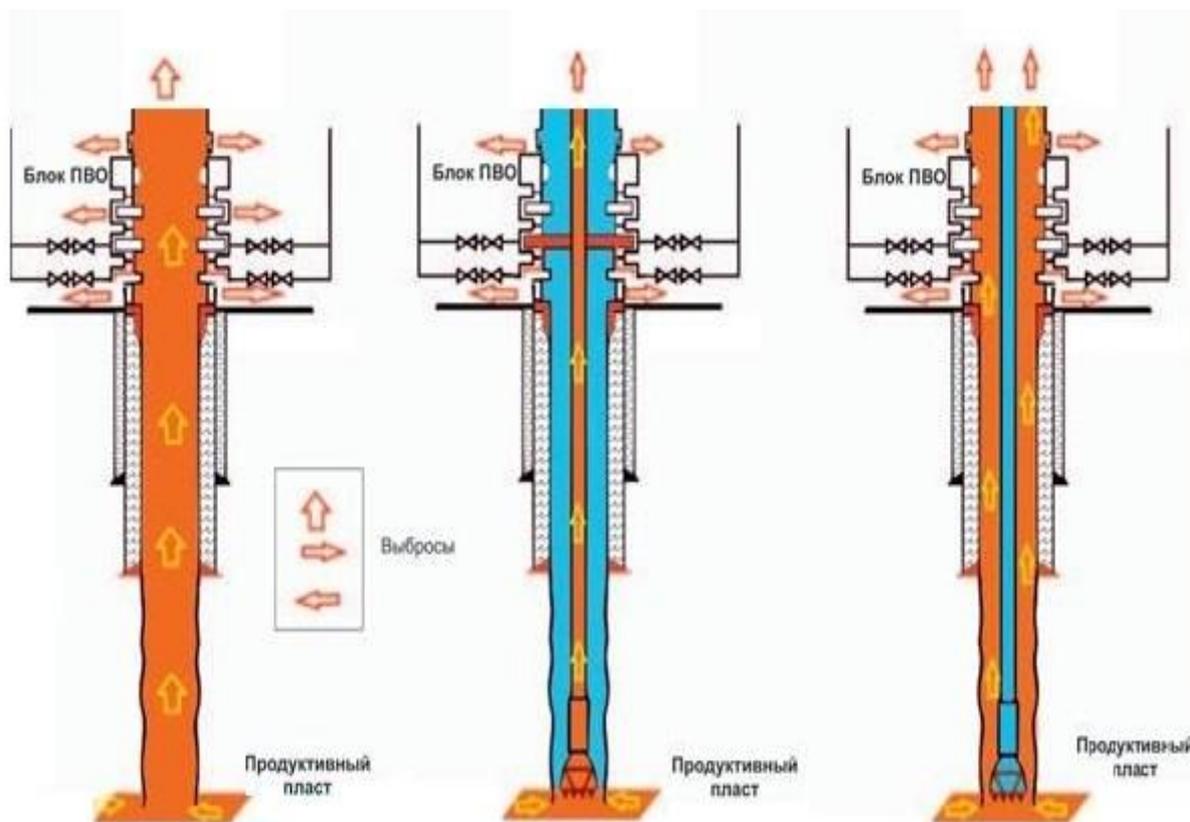
- потеря бурового и другого оборудования;
- непроизводительные материалы и трудовые затраты;
- загрязнение окружающей среды (разливы нефти или минерализованной воды, загазованность и др.);
- перетоки флюидов в пласте внутри скважины, вызывающие истощение месторождения и загрязнение вышележащих горизонтов.

Усовершенствование и внедрение передовых техник и технологий строительства, эксплуатации и ремонта газовых и газоконденсатных скважин снизила остроту, но не решила полностью проблема проявлений. Помимо того, с вводом в эксплуатацию газовых и газоконденсатных скважин с наклонно направленными и горизонтальными стволами, пробуренными кустовым методом в районах распространения мерзлых пород (МП) при аномально высоких пластовых давлениях (АВПД), случаев ГНВП значительно увеличилось.

За годы строительства и эксплуатации газовых и газоконденсатных скважин на месторождениях Западной Сибири зафиксировано около 176 случаев ГНВП из которых около 30 случаев, перешедших в открытые газовые фонтаны и пожары, которые создали

реальную угрозу безопасности жизни и здоровью обслуживающего персонала и населения, нанесли непоправимый ущерб окружающей среде.

Было определено, что в подавляющем большинстве (167 случаев из 176–95%) возникновение проявлений и открытых фонтанов имело место при строительстве скважин на этапе бурения, включая случаи ликвидации аварии. В более чем половине случаев (56 %) в той или иной степени были виноваты исполнители работ. Причем среди этих аварий 51 % произошли при подъеме инструмента. Второе место среди обстоятельств, приведших к возникновению ГНВП, занимает несоответствие плотности бурового раствора проектному значению. На рисунке 1 показаны механизмы поступления флюида в скважину. Существует всего три механизма поступления флюида в скважину: в кольцевое пространство, в трубное пространство и по всему диаметру скважины.



*Рисунок 1. Механизм поступления пластового флюида в скважину*

В данной работе проведен анализ признаков, причин и существующих методов борьбы с ГНВП, их литературный обзор и выявление положительных и отрицательных сторон. Также выявлены все необходимые параметры для необходимых учесть при проектировании скважины, а так же параметры необходимые для оперативного глушения скважины.

Проектирование основных технологических решений по предупреждению возможных ГНВП:

– выбор плотности бурового раствора (выбор соответствующей плотности бурового раствора, необходимого для обеспечения противодействия продуктивному пласту, является основой для мероприятий по предупреждению ГНВП);

– определение предельного и допустимого объемов пластового флюида (с точки зрения как предупреждения гидроразрыва пород, так и сохранения герметичности обсадных колонн);

– определение допустимой механической скорости бурения (механическую скорость необходимо ограничивать до таких значений, которые смогут обеспечить дегазацию промывочного раствора);

– определение допустимых гидродинамических давлений при СПО (скорость спуска и подъема должны быть ограничены значениями допустимых гидродинамических давлений, которые возникают при движении обсадных и буровых труб в скважине).

Определение следующих технологических параметров для глушения скважины:

– максимально допустимое давление на устье скважины (Допустимое давление на устье скважины не должно превышать 80% давления последней опрессовки обсадной колонны и устья скважины);

– плотность поступившего в скважину пластового флюида (необходима для расчетов жидкости глушения и ликвидации проявлений);

– пластовое давление (необходимо рассчитать фактическое пластовое давление, для уточнения горно-геологических условий, для правильного проектирования);

– плотность бурового раствора, которая необходима для проведения процесса (то есть плотность бурового раствора, необходимого для глушения поступившего в скважину пластового флюида);

– начальное давление циркуляции, конечное давление циркуляции (необходимо для контроля и исследования процессов происходящих в скважине во время проявления).

По результатам проведенной работы, разработаны мероприятия по борьбе с проявлениями, их ликвидации и раннему обнаружению.

## **Выводы**

При правильном подсчете и соблюдении при строительстве скважины всех рассчитанных выше параметров удастся минимизировать возможность возникновения ГНВП и перехода их в открытое фонтанирование.

## **Благодарности**

Хочу выразить благодарность своему научному руководителю, профессору Соловьеву Николаю Владимировичу, за помощь, в процессе подготовки научной статьи.

## **Библиография:**

1. Басарыгин Ю.М. Теория и практика предупреждения осложнений и ремонта скважин при их строительстве и эксплуатации. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2001./

2. Басарыгин Ю.М., Осложнения и аварии при бурении нефтяных и газовых скважин – М.: Недра, 2000./ Basarygin, YU.M. Teoriya i praktika preduprezhdeniya oslozhneniy i remonta skvazhin pri ikh stroitel'stve i ekspluatatsii. – М.: ООО «Nedra-Biznestsentr», 2001.
3. Чабаяев Л.У. Фонтаноопасность при бурении, эксплуатации и ремонте скважин. – Краснодар: Просвещение-Юг, 2009. – 267 с./ Chabayev L.U., Fontanoopasnost' pri bureanii, ekspluatacii i remonte skvazhin.-Krasnodar: Prosvesheniye-Yug, 2009.
4. Ясов В.Г. Осложнения в бурении: учебн. для вузов / В.Г. Ясов, М.А. Мыслюк. - М: Недра, 1992./ Yasov V.G. Oslozhneniya v bureanii: uchebn. dlya vuzov / V.G. Yasov, M.A. Myslyuk. - М: Nedra, 1992.

**Угроза катастрофических выбросов метана в Восточно-Сибирском море и море Лаптевых (Арктика) – телеметрическая сейсморазведка для глубинных и инженерных сейсмических исследований**  
**Астаскевич А.И.\* (МГРИ, [astaskevich.alya@mail.ru](mailto:astaskevich.alya@mail.ru)) Соловьёв Н.В. (МГРИ, [solovyev@mgri.ru](mailto:solovyev@mgri.ru)), Щербакова К.О. (МГРИ, [sherbakovak@mgri.ru](mailto:sherbakovak@mgri.ru))**

### Аннотация

В статье освещена проблема эмиссии метана на шельфах моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря. Основной акцент сделан на деградации подводных многолетнемерзлых пород и последствиях их деградации. Отмечено, что массивированный выброс метана в Арктике может привести к непредсказуемым климатическим последствиям.

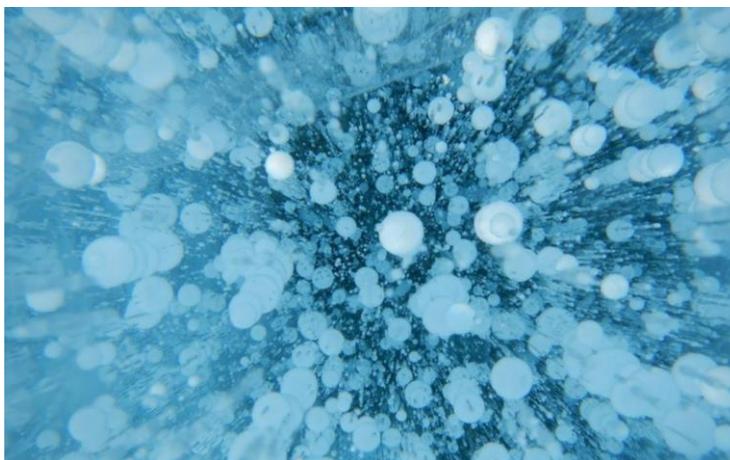
### Ключевые слова

Эмиссия метана, Арктика, море Лаптевых, Восточно-Сибирское море, последствия изменения климата для многолетнемерзлых пород.

### Теория

Практический и научный интерес в изучении Арктики вызывают зоны газонасыщения, которые образуются в толще многолетнемерзлых пород. Именно оттаивание подводных многолетнемерзлых пород может стать причиной дальнейших климатических изменений в Арктике.

Газонасыщенные зоны представляют собой природную опасность. Приблизительные оценки показывают, что выброс в атмосферу менее 1% предполагаемых запасов метана из газогидратов приведёт к увеличению содержания метана в атмосфере и трудно предсказуемым климатическим последствиям. В настоящее время одной из возможных причин климатических изменений, является выделение большого количества углеводородных газов из толщи подводных многолетнемерзлых пород (ПММП) [5]. Опасность выброса большого количества метана в атмосферу заключается в том, что метан является более сильным парниковым газом, чем CO<sub>2</sub> [1]. На рисунке 1 изображены пузырьки метана в припайном льду.



**Рисунок 1.** Пузырьки метана в припайном льду

В современных условиях продолжительность жизни молекулы метана на земной поверхности составляет 10 лет. При многолетнем росте концентрации метана продолжительность роста молекулы может возрасти. В доиндустриальную эпоху время жизни молекулы метана составляло 8,5 лет [1].

При массированном выбросе метана в атмосферу существует риск попасть в метангидратную ловушку: происходит выброс метана, за счёт чего увеличивается парниковый эффект, что приводит к возрастанию средней температуры Земли и постепенному разрушению ПММП. Деграция ПММП приводит к дальнейшему выбросу газогидратов, увеличивая срок жизни молекул метана и положительно влияя на парниковый эффект [1].

Для отслеживания деграции ПММП на шельфе моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря наиболее безопасными являются геофизические методы, в частности, электро- и сейсморазведка. Геофизические методы позволяют получить информацию о расположении газонасыщенных участков, сформировать модель морского дна с учётом деграции ПММП [2].

Однако, стоит заметить, что деграцию ПММП можно приостановить путём ограничения глобального потепления. В настоящее время разработаны методы улавливания CO<sub>2</sub> из атмосферы, активизации фотосинтеза океанических растений, захоронения углерода в форме CO<sub>2</sub>, ведения сельского и лесного хозяйств, при которых углерод остаётся в земле в стабильных формах.

Для других парниковых газов таких методов не существует, поэтому необходимо снижать их концентрацию в атмосфере для сокращения их радиационного воздействия. Снижение уровня метана в атмосфере осуществимо при ограничении антропогенных выбросов и разрушении газа за счёт естественных процессов [4].

## **Выводы**

Динамика увеличения парникового эффекта оказывает разрушительное влияние на ПММП. Деграция ПММП способствует ухудшению инженерно-геологических условий и выбросам газогидратов, положительно влияющих на глобальное потепление.

На данный момент самыми эффективными способами по снижению парникового эффекта являются: уменьшение количества выбросов антропогенных парниковых газов и активное удаление парниковых газов из атмосферы. Также одним из решений проблемы в будущем будет служить эффективный метод улавливания метана из атмосферы, который предстоит разработать.

## **Благодарности**

Выражаю благодарность сотрудникам Российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе (МГРИ) за помощь в развитии научного проекта: проректору по международной деятельности и региональному сотрудничеству Машковой Анастасии Михайловне, заведующему кафедрой современных технологий бурения скважин, доктору технических наук, профессору Соловьёву Николаю Владимировичу; преподавателям кафедры современных технологий бурения скважин Овёзову Батыру Аннамухаммедовичу и Щербаковой Ксении Олеговне.

## **Библиография**

1. Академик Голицин Г.С. Оценка возможности «быстрого» метанового потепления 55 млн. лет назад. / Академик Г.С. Голицин, А.С. Гинзбург. // Доклад АН. – 2007. – Т.413. – № 6. – С. 816–819.
2. Анализ, прогноз и управление природными рисками с учетом глобального изменения климата – ГЕОРИСК-2018: Материалы X Международной научно-практической конференции: в 2т./ отв. ред. Н.Г. Мавлянова. – Москва: РУДН, 2018. Т.2. – 179 с.
3. Арефьев В.Н. Фоновая составляющая концентрации метана в приземном воздухе (Станция мониторинга «Обнинск»). / В.Н Арефьев, Р.М. Акименко, Ф.В. Кашин, Л.Б. Упэнэк // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2015. – Т.51. – № 6. – С. 1–9.
4. Гладильщикова А.А. Специальный доклад межправительственной группы экспертов по изменению климата «Глобальное потепление на 1,5°C». / А.А. Гладильщикова, Т.М, Дмитриева, С.М. Семенов // Фундаментальная и прикладная климатология. – 2018. – Т.4 – С. 5–18.
5. Дмитриевский Н.Н. Сейсмоакустические исследования верхней осадочной толщи и рельефа морского дна в морях восточной Арктики в 57м рейсе научно-исследовательского судна “Академик М.А. Лаврентьев” / Н.Н. Дмитриевский, Р.А. Ананьев, Н.В. Либина, А.Г. Росляков // Океанология. – 2012. – Т.52. – № 4. – С. 617–620.

**Разработка геофизического прибора нейтронного каротажа с аппаратурой для возбуждения и остановки реакции синтеза**

**Бойко А.М.\* (МГРИ, [anna.maksimovna.b@gmail.com](mailto:anna.maksimovna.b@gmail.com)), Соловьёв Н.В. (МГРИ, [solovyevnv@mgri.ru](mailto:solovyevnv@mgri.ru)), Щербакова К.О. (МГРИ, [sherbakovak@mgri.ru](mailto:sherbakovak@mgri.ru))**

### Аннотация

В данной статье рассматривается разработка NeoTron, которая направлена на модернизацию источника реакции для геофизических исследований скважин. Идея разработки заключается в наличии в приборе аппаратуры, которая будет способна инициировать и останавливать синтез нейтронов.

Цель: усовершенствование производственной технологии – источника нейтронного модуля, который определяет степень пористости пласта. Внедрение механизма для контроля радиоактивного излучения, необходимого для измерения пористости пласта горной породы, являющейся коллектором флюидов нефти.

### Ключевые слова

Бурение, каротаж, экология, нейтронный источник.

### Теория

При исследовании скважин существует множество самых разнообразных проблем: смятие, разрывы, обрывы или поломки вследствие скручивания труб, буровые долота могут разбиваться, замковые соединения могут отвинчиваться от колонны труб и сами трубы могут часто застревать в скважине. Последнее - самый распространенный вид аварии во время ГИС.

Назначение научно-технического продукта состоит в том, что источник в данной конструкции исследует и передает информацию об уровне пористости пласта, после процесса бурения гидравлическими забойными двигателями и передачи информации материнской телесистеме, с применением контролируемого радиоактивного излучения. Данная разработка позволит избежать опасных ситуаций при использовании источника, его транспортировке и при его утрате в скважине.

Наличие радиоактивных химических источников случае аварии создает опаснейшую ситуацию – радиоактивное захоронение. Также необходимо использование защитного корпуса в любое время при загрузке и разгрузке источника. Создается угроза для здоровья работников, находящихся в непосредственной близости к источнику излучения [7].

Буровые компании на постоянной основе несут огромные убытки по причине прихвата бурильного инструмента:

- Трата времени на его ликвидацию;
- Потеря части бурильной колонны;
- Необходимость бурения бокового ствола в обход, оставленного в скважине;

- Потеря скважины.

Принцип работы нейтронного каротажа заключается в следующем: источник излучает быстрые нейтроны. В однородной среде происходит неупругое рассеяние этих нейтронов. Ядро атома находится в возбужденном состоянии, испуская каскад гамма-квантов. После нескольких серий рассеяния энергия нейтрона понижается. Скорость нейтрона и возможность неупругого рассеяния резко уменьшается, и самой вероятной становится реакция упругого рассеяния. Нейтрон продолжает тратить энергию до приобретения им тепловой энергии, т. е. соизмеримой с энергией теплового движения атомов и молекул. Водород – это самый сильный замедлитель нейтронов. Тепловые нейтроны находятся в тепловом движении атомов и молекул, при касании с ними, в среднем не теряют энергии. Вследствие чего нейтроны поглощаются ядром. Процесс поглощения обычно вызывает последующее испускание нескольких гамма-квантов. А детекторы подсчитывают количество вернувшихся тепловых нейтронов. Чем меньше тепловых нейтронов возвращается в детектор, тем большее количество водорода находится в горной породе. Чем выше водородный индекс, тем выше пористость [1,2,5].

На рисунке 1 представлено схематическое изображение комплекса NeoTron. Цель разработки NeoTron — это постоянный контроль над процессом излучения нейтронов. Вылетевшая из америция альфа-частица попадает в бериллий, и он превращается в радиоактивный углерод, который избавляется от лишнего нейтрона. Таким образом на каждый миллион альфа-частиц, вылетевших из америция, получается всего 30 нейтронов. Свободные нейтроны не возникают естественным путем. Они образуются при бомбардировке атомов бериллия альфа-частицами из распадающегося америция, что делает источник опасным для человека и окружающей среды. NeoTron будет производить в 10 раз больше нейтронов при втрое большей энергии химического источника.

Основные технические характеристики:

- Герметичный корпус высокого давления содержит 55 ГБк трития;
- Под давлением газа SF<sub>6</sub> для предотвращения образования высоковольтной дуги;
- Генерирует ~108 нейтронов при ~ 14 МэВ.

Данное устройство позволяет минимизировать негативное воздействие на экологическую обстановку. Основные преимущества NeoTron – радиационная безопасность, высокое качество материала, отсутствие химического источника нейтронов, наличие импульсного режима работы нейтронного генератора, извлекаемый источник гамма-квантов [3,4,6].

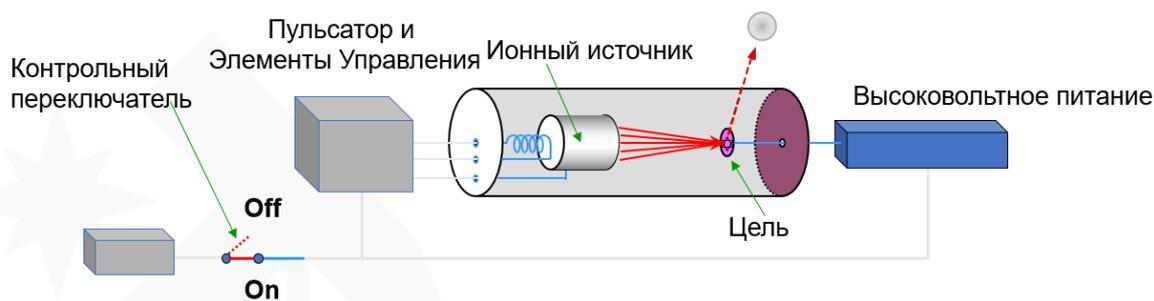


Рисунок 1. Схематичное изображение комплекса NeoTron

## Выводы

Т.к. прибор NeoTron разрабатывался специально для совместной работы с аппаратурой импульсного нейтронного каротажа, в его конструкции предусмотрено извлечение источника гамма-излучения в случае аварийной ситуации. Это выгодно отличает данный прибор от существующих аналогов, где источники либо не извлекаются, либо вставляются до начала сборки на устье скважины. Прибор периодически требует подзарядки, так как заряд для его активации идет от аккумулятора.

Основные преимущества комплекса: радиационная безопасность, высокое качество материала, отсутствие химического источника нейтронов, наличие импульсного режима работы нейтронного генератора, извлекаемый источник гамма-квантов

На российском рынке не представлено ни одного вида прибора, имеющего функцию отключения питания, ведь при потере радиоактивного элемента конструкции радиоактивное загрязнение будет катастрофическим и отравлять окружающую среду на протяжении 500-600 лет. Данная доработка прибора избавит буровые компании от штрафов и административной ответственности. К тому же, с финансовой точки зрения, механизм не является сложным и, соответственно, дорогостоящим, но значительно облегчит эксплуатацию. Необходимость использования прибора доказана многочисленными исследованиями.

## Благодарности

Выражаю благодарность сотрудникам Российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе (МГРИ) за помощь в развитии научного проекта: проректору по международной деятельности и региональному сотрудничеству Машковой Анастасии Михайловне, заведующему кафедрой современных технологий бурения скважин, доктору технических наук, профессору Соловьёву Николаю Владимировичу; преподавателям кафедры современных технологий бурения скважин Овёзову Батыру Аннамухаммедовичу и Щербаковой Ксении Олеговне.

## **Библиография**

1. Арцыбашев В. А., Ядерно-геофизическая разведка, М., 1972;
2. Косков В. Н. Определение пористости карбонатных коллекторов по данным нейтронного каротажа // Вестник Пермского университета. Геология. 2014. №4 (25).
3. Машкин К.А., Рыскаль О.Е., Коротченко А.Г., Гайнетдинов Р.Г., Глухов В.Л., Огнев А.Н., Шабиев И.Х. Расширение области применения ядерно-геофизических методов в сложных геолого-технических условиях // Каротажник. 2012. № 4. С. 19-28;
4. Метрологическое обеспечение аппаратуры импульсного нейтронного каротажа при работе с каротажным кабелем длиной до 6 км. - В сб. "Разведочная геофизика", вып.107, 1988, с.134-140.
5. Основы импульсного нейтрон-нейтронного каротажа, М., 1965;
6. Филиппов Е. М., Прикладная ядерная геофизика, М., 1973;
7. Черепанов В.В., Ахмедсафин С.К., Кирсанов С.А., Егурцов С.А., Иванов Ю.В., Лысенков А.И., Меркулов А.В. Применение технологий нейтронного каротажа скважин при разработке нефтегазоконденсатных месторождений. Состояние и перспективы развития // Газовая промышленность. 2019. №S1 (782).

***Совершенствование технологии изоляции интервалов поглощений с применением профильных перекрывателей при бурении скважин.***

***Д. Д Сахатов., д.т.н., профессор Н.В Соловьев. Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ)***

***dovran.sahatov@mail.ru Научный руководитель: д.т.н., профессор Н.В Соловьев***

**Аннотация**

В статье описывается усовершенствованная технология изоляции интервалов поглощений с использованием профильных перекрывателей (ПП) с их установкой и последующим раскрытием в виде цилиндрических участков с помощью развальцевателей.

Приводится описание способа расширения резьбового соединения профильных труб при герметичной установке в интервале с высокой проницаемостью горных пород при использовании состава для повышения герметичности расширенной части профильного перекрывателя при рабочем давлении не менее 17 МПа

Приведено описание технических разработок, а также результаты их промышленного внедрения для совершенствования технологии крепления стенок скважин расширяющимися профильными перекрывателями, направленных на решение ряда проблем, связанных с упрощением конструкции, снижение материалоемкости и энергоемкости процесса ликвидации поглощений буровых растворов, повышение качества выполняемых работ при существенном сокращении затрат времени

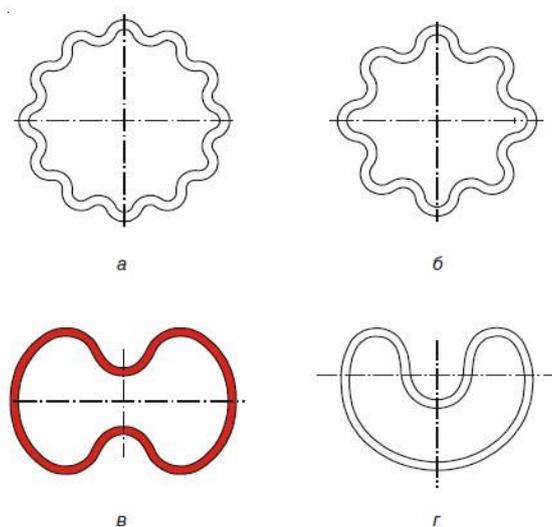
**Ключевые слова**

Повышение качества крепления стенок скважин, сложные горно-геологические условия, новые технологии повышения герметичности профильных перекрывателей, рабочее давление, герметизирующий состав резь.

**Теория**

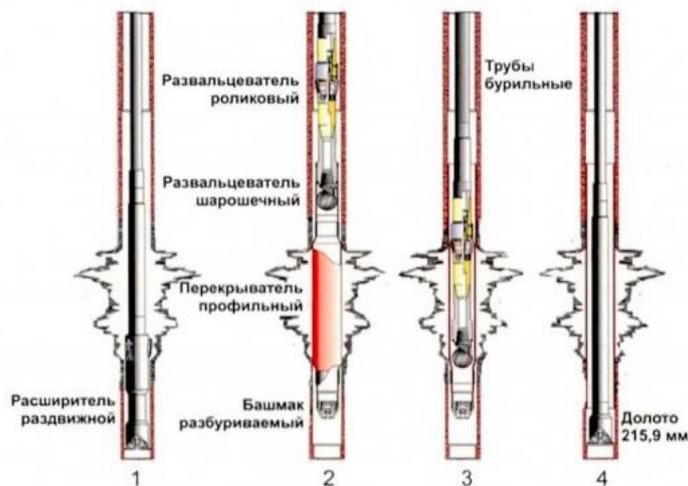
Одним из актуальных направлений уменьшения материалоемкости и энергоёмкости технологических процессов при строительстве газовых и нефтяных скважин является развитие технологии разобщения пластов расширяемыми обсадными колоннами без цементирования и сохранения диаметра скважины. Наиболее трудоемкой работой при строительстве скважины на нефтяных месторождениях страны является изоляция зон с высокой интенсивностью поглощения бурового раствора. Не всегда удается ликвидировать такие осложнения существующими методами изоляции, поэтому необходимо перекрывать эти интервалы промежуточными колоннами, такими как колонна «летучка» или «хвостовиками», что связано с большим расходом металла, большой потребностью в специальной технике, цемента и большими затратами времени. В таких условиях применялись профильные перекрыватели в более чем 1700 скважинах для изоляции зон интервалов поглощения бурового раствора, ГНВП и обвалов пород в самых сложных ситуациях, где иные методы изоляции не давали хороших результатов. Эта технология и оборудование могут использоваться для изоляции и других видов осложнений, таких как водопроявления, обвалы и осыпания пород в стенках скважин, а также для разобщения водоносных пластов от продуктивных до установки эксплуатационной колонны и поинтервального крепления зон продуктивных пластов с

целью сохранения их коллекторских свойств от случайного блокирования цементным раствором при цементировании эксплуатационной колонны. Такая технология уникальна по своим качествам и достигаемым результатам, при невысокой эффективности других методов. В случае применения профильных перекрывателей не только изолируется проблемный участок, но и дополнительно защищается обсадная колонна от коррозии, а также в интервалах поглощения увеличивается качество цементирования. Это достигается за счет того, что цементный раствор при ожидании затвердевании цементного камня не проникает в поглощающий пласт или не размывается водопроявляющим пластом. Для обоснования рациональной формы поперечного сечения, удовлетворяющей указанным выше требованиям, рассмотрены несколько типов профильных перекрывателей рисунок 1.1: восьми лучевые, двенадцати лучевые, двухканальные в виде восьмерки, желобчатые и вписанной в круг.

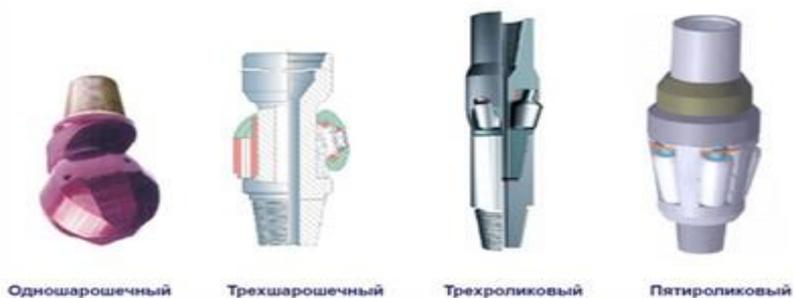


**Рисунок 1.** Профили поперечного сечения труб: а - двенадцати лучевой; б - восьмилучевой; в - двухканальной; г – желобчатой

С целью сокращения времени на первом этапе совершенствования была разработана технология изоляции зон осложнений ПП в четырех СПО с использованием одношарошечных-развальцевателей

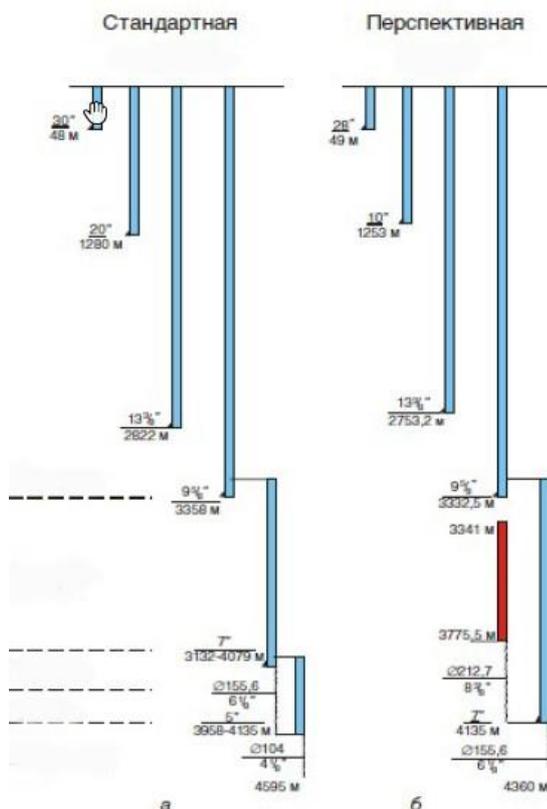


**Рисунок 2 -** Схема установки профильного перекрывателя за четыре СПО



**Рисунок 3** - Для практического решения задач увеличения диаметра труб можно применять процесс раздачи цилиндрическим или коническим пуансоном.

**Установка профильного перекрывателя в скважине 41**



**Рисунок 4** –Конструкции скважин для месторождение Купал а –стандартная б-перспективная

**Выводы**

Выполнен анализ существующих видов уплотнений резьбовых соединений и с учетом имеющегося опыта были проведены стендовые испытания по расширению и герметизации резьбовых соединений с предварительным нанесением различных герметиков в профильных перекрывателях.

**Библиография**

1) Абдрахманов Г.С. Крепление скважин эспандируемыми трубами. – М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2014. Страница 27-28 и 224-226

**Научные основы управления режимами бурения гидрофицированных буровых установок с гибридной схемой подключения модифицированной регулировочной аппаратуры с переменными характеристиками**

**Завацки С. (МГРИ, [One-up@mail.ru](mailto:One-up@mail.ru)), Маляренко Е.А.\* (МГРИ, [malyarenkoea@mgi.ru](mailto:malyarenkoea@mgi.ru))**

### **Аннотация**

Классические решения соответствуют квадратической подобласти гидравлических сопротивлений, и широко применяются в практике анализа механики работы механизмов подачи. Невозможным является корректное описание механики работы, поскольку не учитывают области (подобласти). Приведены обобщающие подходы для комплексного решения проблем и расчёты, учитывающие все режимы течения гидравлических жидкостей в регулирующей аппаратуре.

### **Ключевые слова**

дроссели, области и подобласти режимов течения, гибридные схемы, капилляры, гидравлические механизмы подачи, местные сопротивления

### **Теория**

В настоящее время, требования, предъявляемые к прецизионности управления процессом углубки, существенно возрастают. Процесс эффективной углубки наиболее отвечающим образом обеспечивается гидравлическим механизмом подачи дроссельной конструкции. Проектирование и разработка технологии бурения гидрофицированными буровыми установками должна вестись так, чтобы учитывать гидравлические сопротивления элементов механизма подачи и его параметры.

Необходимо учитывать параметры механизма подачи и гидравлические сопротивления элементов механизма подачи при разработке технологии бурения геологоразведочных скважин гидрофицированными буровыми установками.

Объёмный расход жидкости через гидравлический дроссель, площадь поперечного сечения проходного отверстия гидравлического дросселя, коэффициент расхода жидкости через гидравлический дроссель, потерю давления в гидравлическом дросселе необходимо учитывать при исследовании принципиальной схемы параллельного гидроцилиндру (гидродвигателю) подключения гидравлического дросселя механизма подачи и предохранительного клапана.

Для расчёта работы гидродвигателя и подачи маслонасоса в системе гидравлического привода определяется полный КПД гидродвигателя и насоса, сложенные из объёмного, гидравлического и механического КПД.

Уравнение позволяет проанализировать взаимосвязи основных параметров режима бурения и гидравлических параметров работы механизма подачи. Полученная зависимость учитывает подачу маслонасоса и его КПД, а также, гидродвигателя, и величину углубки оборот вокруг своей оси.[1, 2].

Из анализа функциональной зависимости, следует, что с ростом углубки за один оборот, снижается осевая нагрузка и вызвано это уменьшением сил сопротивления внедрению породоразрушающего инструмента в горную породу (т.е. снижением категории пород по буримости). И, тем выше усилие прижатия породоразрушающего инструмента к забою, чем меньше величина углубки.

Получим, что интенсивность (скорость) изменения осевой нагрузки  $\partial C_{oc} / \partial h_{1об}$  при увеличении углубки за один оборот  $h_{1об}$  также увеличивается.

Далее, исследуя схему, применённую в УКБ-3, последовательного по отношению к гидроцилиндру (гидродвигателю) подключения гидравлического дросселя механизма подачи и параллельного – напорного золотника (дросселирующего клапана). Полученное уравнение наглядно способствует анализу взаимосвязи основных параметров режима бурения и гидравлических параметров работы механизма подачи. И уравнение для параллельной схемы подключения дросселя, учитывает величину углубки за один его оборот вокруг своей оси, а также КПД гидродвигателя, маслонасоса и его подачу.[1, 2].

Учёт режима движения рабочей жидкости через элементы аппаратуры управления механизма подачи должен производиться при прогнозировании значений механической скорости бурения.

Функциональная взаимосвязь потери давления, затрачиваемой на преодоления сил внутреннего трения, от средней скорости движения жидкости (или объемного  $Q$  или массового  $M$  расхода) определяет вид зависимости. В её зависимости от параметров, различают линейную и нелинейную функциональные области:

1.Линейная область - ламинарный режим.

2.Нелинейная область - турбулентный режим. В нелинейной области три подобласти.

2.1.Нелинейная доквадратическая подобласть - турбулентного режима в гидравлически гладких магистральных.

2.2.Нелинейная доквадратическая подобласть - турбулентного режима в гидравлически шероховатых магистральных.

2.3.Квадратическая подобласть - турбулентного режима в гидравлически шероховатых магистральных.

Полученные зависимости носят общий характер, и распространяются на местные гидравлические сопротивления. Однако, не учитывают сложности явлений. Это связано со слабой изученностью механизма и сложностью явления.

Необходимо установить режим течения с его критическим значением.

Считая справедливым неравенство  $Re_i < Re_{кр_i}$ , то режим ламинарный - линейная область. Если  $Re_i \geq Re_{кр_i}$ , то режим турбулентный - нелинейная область.

Результаты подробных экспериментальных исследований, представлены в работах Везиряна Р.Е. и Арзумянова Э.С. Они показали, что можно принять следующие утверждения правильными, применительно к угловым регулирующим клапанам.

Но в работах Везиряна Р.Е. и Арзуманова Э.С., экспериментальное число Рейнольдса выражено через гидравлический радиус, что даёт нам более точные результаты.

Учёт гидродинамических характеристик регуляторов расхода рабочей жидкости гидропривода – гидравлических дросселей и напорных золотников в составе механизма подачи буровой установки необходимо считать основополагающим при осуществлении проектирования параметров режима бурения.

По формуле Вейсбаха рассчитываются потери давления, затрачиваемые на преодоление сил внутреннего трения в жидкости, в произвольном местном гидравлическом сопротивлении. Формулу Вейсбаха для любого режима течения жидкости можно представить в общем виде.

Обобщающая формула предложена НИИавтоматики, Альтшулем А.Д.. В таком случае учитывается сопротивление, обусловленное инерционными силами и вязкостное сопротивление в местном гидравлическом сопротивлении (оно существенно при малых значениях  $Re$ ).

Использование обобщённой зависимости, предложенной Альтшулем А.Д., справедливо для всей области гидравлических сопротивлений.[1, 2].

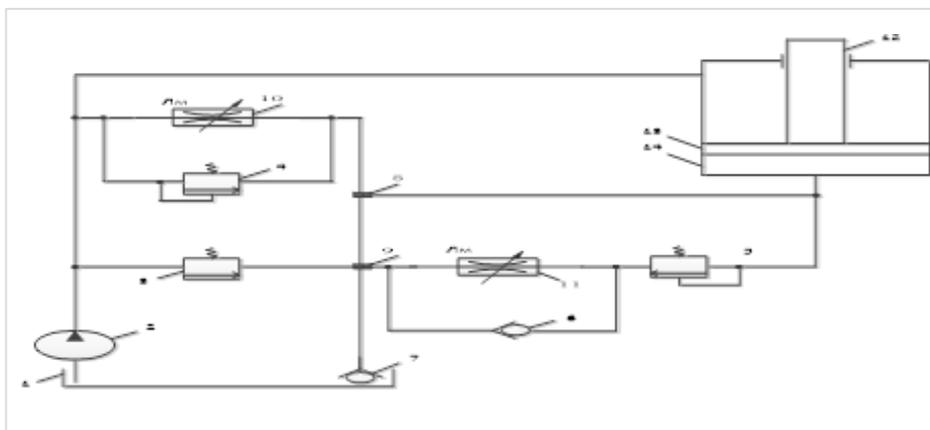
В установлении следующих величин заключается справедливая, для всего диапазона гидравлических сопротивлений и всех схем, методика анализа работы гидравлического механизма подачи, разработанная и рекомендованная на основании представленных выше исследований:

Степень сжатия потока  $\alpha$ . Коэффициент сжатия струи  $\epsilon$ . Число Рейнольдса для местного гидравлического сопротивления. Коэффициент местных гидравлических сопротивлений  $\xi$ . Зависимость осевой нагрузки от показателей процесса углубки скважины и параметров гидравлического механизма подачи.[1, 2].

В дальнейшем, несмотря на достигнутые результаты, автором проведен ряд исследований, позволяющих достигнуть, упрощение довольно таки сложной, по конструктивным меркам, схемы. Эта схема требует увеличенного числа переключений в процессе перемежающихся или сильно трещиноватых пород, брекчий, часто меняющих свои структурные и текстурные свойства пластов, с целью обеспечить оптимальную проходку. Но и требования к квалификации обслуживающих буровую установку бурового мастера и помощника буровика и ответственного за технологию и режимы бурения технолога и другого персонала являются не всегда выполнимыми и достижимы. С учётом этого была предложена новая, более прогрессивная гибридная схема с модифицированной регулирующей аппаратурой, представленная на рис.1. В её основу легли линейные модифицированные дроссели с переменной, но преимущественно линейной и доквадратичной характеристикой обеспечивающие режимы бурения, ранее требующие применения дросселей с квадратичной характеристикой. В основу легли научные исследования внезапно сужающегося или расширяющегося потока жидкости в местных сопротивлениях. Для этого были использованы фундаментальные

исследования ряда авторов (Альтшуль А.Д., Везирян Р.Е., Арзуманов Э.С. и др.)[1], исследователей и научных институтов.

Основываясь на результатах опытных исследований, предварительных расчётов и вышеприведённых графиков была предложена в качестве основной гидравлическая гибридная схема механизма подачи буровых установок с модифицированными линейными дросселями, называемая в дальнейшем гибридной схемой подключения модифицированной регулирующей аппаратуры. Основой является применение модифицированных линейных дросселей, обеспечивающих весь диапазон встречающихся течений рабочей гидравлической жидкости через дроссельную щель в процессе бурения скважины. Таким образом, были изменены линейные дроссели канавочные и щелевые. В канавочном дросселе, работающем по принципу спиралевидно закрученной капилляры, сама капилляра была видоизменена таким образом, что на каждом последующем витке на пробке дросселя её размер был плавно увеличен на определенную величину. Увеличивающийся размер канавки от размера капилляры до трубки большего диаметра и обеспечивает в процессе её перемещения во втулке дросселя нужный объём потока рабочей жидкости при меняющихся режимах бурения скважины. На интервале входа и выхода из дросселя, таким образом, при передвижении канавочной пробки внутри втулки дросселя, на разных интервалах соединения канавки, достигается желаемый поток гидравлической жидкости, тем самым требуемое регулирование величины осевой нагрузки. В щелевом дросселе применена ассиметричная входная щель, обеспечивающая требуемый поток рабочей жидкости через дроссельную щель, тем самым требуемую величину осевой нагрузки, обеспечиваемую механизмом подачи, на ПРИ.



*Рисунок 1. Гибридная схема с модифицированной регулирующей аппаратурой с переменными характеристиками.*

Потери давления, для квадратичных дросселей, определяются вихреобразованием и деформацией жидкости. В них потери пропорциональны квадрату скорости жидкости через дроссель и практически не зависят от вязкости.

Подбором профиля проходного сечения можно добиться, по Б.А. Васильеву, ламинарной, линейной характеристики дросселя. Проходное сечение щелевого дросселя изменяется поворотом пробки. На пробке нанесена щель заданного профиля. В канавочном линейном дросселе внутри передвигается цилиндрическая пробка с прямоугольной винтовой нарезкой, винтовая, подвижная.

Проведённые предварительные расчеты по формуле Вейсбаха показали сохранение ламинарного течения гидравлической жидкости в канавке или дроссельной щели. При большом и плавном увеличении диаметра капилляры, при длинном участке проходной канавки, сохраняется линейная характеристика передвижения рабочей жидкости в канавке, или сохранение ламинарного характера движения широкого ядра потока течения.

Значит, таким образом, формула и расчёты для потока жидкости при внезапном сужении, определяющие характер движения гидравлической жидкости в трубопроводе и в местном сопротивлении, подлежит пересмотру и учёту вышеперечисленных выводов. [1, 2].

Проведённой дальнейшей модернизацией и модификацией канавочных дросселей с линейной характеристикой являются двухканавочные и трёхканавочные дроссели - мультиканавочные дроссели, где проблема обеспечения ламинарного течения жидкости гарантирована и обеспечивается скручиванием в спираль двух или трёх капилляр, в зависимости от потребности обеспечения требуемого расхода жидкости через дроссель. Дроссель при поворачивании пробки открывает сначала протоку через одну капилляру и при дальнейшем поворачивании открывается вторая (третья), увеличивая дополнительный расход жидкости. При дальнейшем поворачивании пробки путь течения жидкости через дроссель сокращается и расход увеличивается. Дополнительные капилляры сокращают количество поворотов пробки для достижения требуемого расхода гидравлической жидкости через дроссель, тем самым достигая более оперативное действие регулирующей аппаратуры. Аналогичным образом модернизированы щелевые дроссели и модифицированы в мультищелевые дроссели.

## **Выводы**

Обобщённой основной рекомендацией работы целесообразно, на основе выше изложенного, применение – универсальных модифицированных линейных дросселей - с линейной характеристикой в линейных, доквадратичных и ранее квадратичных областях течения рабочей гидравлической жидкости в регулирующей аппаратуре и магистрали механизма подачи. Щелевой дроссель, с поворотной поллой пробкой, в которой нанесена ассиметричная щель заданного профиля, изменяемым проходным сечением, таким требованиям полностью отвечает. Пропускная способность дросселя практически не зависит от вязкости жидкости, поскольку мала толщина стенки пробки, а также канавочный дроссель, с плавно расширяющейся канавкой или мультидроссель с пробкой из двух или трёх капилляр – канавок. [1, 2].

## **Библиография**

1. Завацки С., Куликов В.В. Усовершенствование управления и работы гидравлического механизма подачи геологоразведочных буровых установок с гибридной схемой подключения комбинированной регулирующей аппаратуры // XIV Международная научно-практическая конференция « Новые идеи в науках о Земле». Доклады. В 4-х томах. Москва. 2019. Т 4. С. 245 – 248.
2. Завацки С., Куликов В.В. Прецизионное управление режимами бурения // LAP LAMBERT Academic Publishing RU. 2017.

### ***Особенности бурения горизонтальных скважин на Ромашкинском месторождении***

*Залбеков М.Я.\* (РУДН, [zalbekov-muslim@mail.ru](mailto:zalbekov-muslim@mail.ru)), Щерба В.А. (МГРИ, [shcherba\\_ya@mail.ru](mailto:shcherba_ya@mail.ru))*

## **Аннотация**

В статье речь идет о преимуществах использования бурения скважин с горизонтальным окончанием для месторождений с низкопроницаемыми коллекторами, чем при бурении вертикальных скважин. Использование горизонтальных скважин способствует повышению производительности скважин, а также увеличению нефтеотдачи продуктивных пластов.

## **Ключевые слова**

Нефтяные месторождения, бурение скважин с горизонтальным окончанием, конструкция горизонтальной скважины, коэффициент извлечения нефти.

## **Теория**

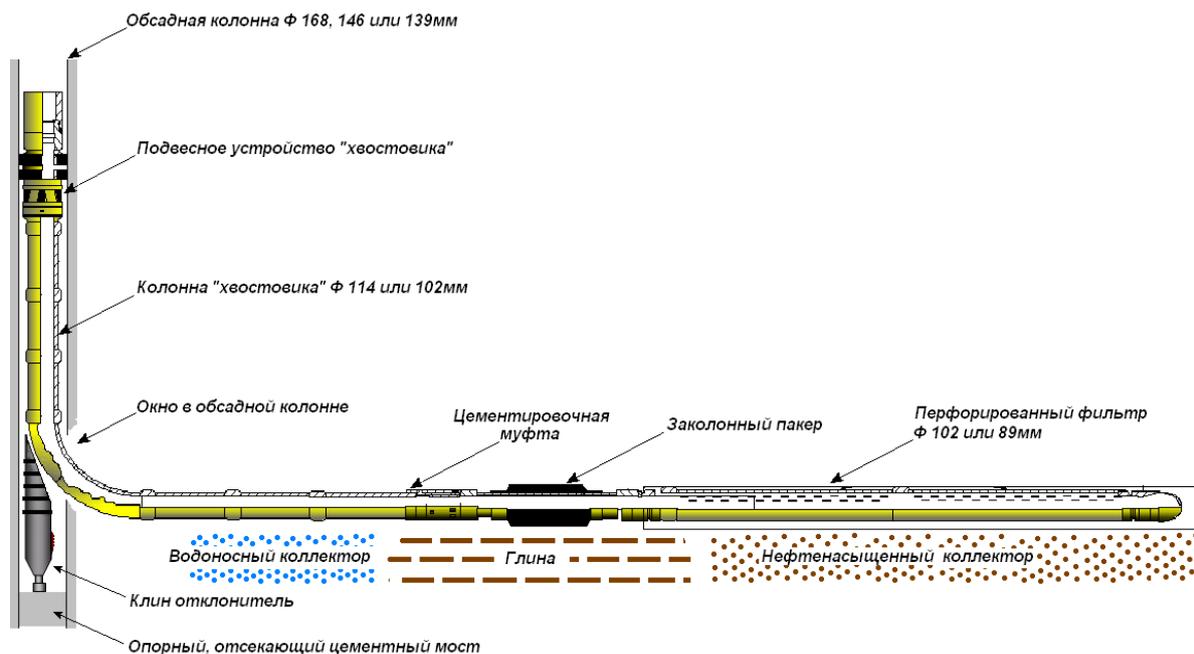
Современный этап развития нефтяной отрасли в республике Татарстан характеризуется вводом в активную разработку участков нефтяных месторождений, находящихся на разных стадиях разработки, отличающихся высокой послойной и зональной неоднородностью, на которых весьма выгодно и эффективно будет применить горизонтальные технологии (ГТ) и современные методы повышения извлечения нефти. Для достижения запроектированных коэффициентов извлечения нефти наиболее актуальным на сегодняшний день, наряду с применением гидродинамических методов, является использование ГТ. Процесс бурения горной выработки является весьма трудоемким, более того, он невозможен без тщательной подготовки.

Республика Татарстан богата крупными, уникальными месторождениями, которые детально изучены геологами. Одним из таких является, открытое в 1946 году, Ромашкинское нефтяное месторождение. Это гигант, который сделал Татарстан одним из важнейших нефтепромышленных регионов России. Геологические запасы нефти Ромашкинского месторождения составляют пять миллиардов тонн, а извлекаемые запасы равны трем миллиардам тонн. Глубина залегания продуктивных пластов не превышает 1,8 километра. Глубина, на которой проводится современная разработка, не превышает 1,8 километра. Размеры определены ориентировочно и находятся в пределах 65 x 75 километров. Ромашкинское нефтяное месторождение на сегодняшний день содержит около двухсот выявленных нефтяных залежей. Плотность добываемой нефти составляет  $0,8 \text{ г/см}^3 - 0,82 \text{ г/см}^3$ , при этом присутствие серы и ее компонентов составляет около 2% [2]. При разработке месторождения были внедрены методы внутриконтурного и законтурного заводнения, теперь применяемые в мировой практике разработки нефтяных месторождений. При разработке многопластового Ромашкинского нефтяного месторождения было введено большое количество нововведений и технологических открытий. На данном месторождении пласты разделены на слои, которые залегают почти горизонтально. Разделяют этот «пирог» малопроницаемые глинистые породы. Слоистость носит нерегулярный характер, и месторождение обладает большой площадью нефтеносности и низкой гидропроводностью. Ромашкинское нефтяное месторождение обладает еще одной особенностью: внутриконтурное заводнение производится не просто водой, а с добавлением различных компонентов. Для заполнения рекомендуется использовать воды, в составе которых содержится нефть до 20 мг/л, железо до 2 мг/л и взвешенные частицы около 16 мг/л, причем размер последних не

должен превышать размер около 10 микрон [7]. Конечно же процесс бурения напрямую зависит от всех этих факторов.

Введение основных нефтяных месторождений Татарстана в завершающую стадию разработки заставляет прибегнуть к бурению горизонтальных скважин. Длина горизонтальных участков стволов скважин достигала 300-450 м. Мощность пластов 6-18 м. Глубина залегания пластов в интервалах 900-1300 м. Переход от вертикальных к горизонтальным участкам производили по средним радиусам (573-114 м), интенсивность набора зенитного угла составляла 1-5°/10 м. Бурение скважин с горизонтальным окончанием применяется для двух типов залежей: массивные, приуроченные к карбонатным коллекторам нижнего и среднего карбона и пластовые, представленные чередованием терригенных нефтенасыщенных пластов и плотных глинистых перемычек. Первоначально конструкция скважины состояла из 324-мм кондуктора, спущенного на глубину 250 - 300 м, и 245-мм технической колонны, спускаемой до кровли продуктивного горизонта. Все эти колонны цементировались до устья. Горизонтальный ствол бурился долотами диаметром 215,9 мм и в зависимости от свойств пород, слагающих продуктивный пласт, заканчивался открытым забоем или оборудовался фильтром. Однако анализ проводки таких скважин показал, что основные затраты времени и средства приходились на бурение скважины до вскрытия продуктивного горизонта, поэтому от этого варианта конструкции скважины в дальнейшем отказались. В настоящее время конструкция скважины (рис. 1) включает в себя 245-мм кондуктор, спускаемый на глубину 250 - 300 м, и 168-мм обсадную колонну, спускаемую до кровли продуктивного пласта, с установкой заколонного пакера ПДМ для манжетного цементирования. Скважины на карбонатные коллекторы заканчиваются, как правило, открытым забоем или спуском фильтра диаметром 146 мм без цементирования.

На первом этапе спускали фильтры со щелевыми отверстиями, что не позволяло производить эффективную обработку скважин перед освоением, промывку зафильтрованного пространства и целенаправленную обработку призабойной зоны. Этому недостатка лишены используемые в настоящее время фильтры с кислоторастворимыми заглушками. Скважины на терригенные коллекторы бобриковского горизонта обсаживаются до забоя с последующим цементированием. С целью снижения репрессии на пласт цементирование осуществляется в две ступени с использованием муфт ступенчатого цементирования. В интервале продуктивного пласта колонна комплектуется фильтром с кислоторастворимыми заглушками. Профиль скважины на башкирский ярус состоит из пяти интервалов: вертикального участка, участка набора зенитного угла, участка стабилизации вскрытия пласта и условно-горизонтального участка. Угол входа в продуктивный пласт 65-70° [3].



Конструкция горизонтальной скважины [1]

Дебиты горизонтальных скважин превышают дебиты соседних, наклонно - направленных, в среднем в 2,32 раза при увеличении затрат на их строительство менее чем в 2 раза. При анализе работы скважин с горизонтальным участком ствола в карбонатных коллекторах замечено, что дебит ГС, пробуренных с использованием различных буровых растворов, в том числе и азрированного бурового раствора в режиме депрессии, отличается незначительно. Практика разбуривания скважин на Ромашкинском месторождении показывает, что экономически целесообразно вертикальный участок бурить ротором. Опыт ранее пробуренных скважин показывает, что скважины на данной площади лучше бурить турбинным способом, следовательно для проводки ствола скважины на участках набора, стабилизации и падения зенитного угла выбран турбинный способ [5].

Большие перспективы применения ГС ожидаются в тиманских отложениях Ромашкинского месторождения. Нефти тиманского объекта по своим физико-химическим свойствам мало отличаются от нефти пашийского объекта (вязкость нефти также составляет 5–7 мПа.с), однако неоднородность продуктивного пласта Д0, его линзовидно-мозаичное строение не позволяют активно вводить в разработку тиманские отложения. Бурение ГС на отложения тиманского возраста позволит ввести в разработку в полном объеме запасы нефти в линзах, водонефтяных зонах и в недоступных участках залежей, расположенных под санитарно-защитными зонами населенными пунктами, лесными массивами, пойменными зонами и родниками. Применение ГТ способствует более равномерной выработке запасов и повышению коэффициента извлечения нефти. Кроме того, применение ГС обусловлено геологическим строением тиманского резервуара, зажатого с кровли и подошвы мощными прослоями глин, что длительное время не позволяло вводить в активную разработку тиманский объект. Мозаичное распространение коллектора пласта Д0 разных литологических типов пород, не позволяет проводить равномерную выработку запасов. Решение проблемы также лежит в применении ГТ с выходом из пород одного литологического состава в другой и проведением ГРП с подключением к выработке дальней зоны пласта. В связи с этим важное значение имеет бурение длинных стволов, заменяющих бурение 3–4-х скважин и проведение на них многозонных ГРП. Такая технология позволила быкратно

сократить количество бурящихся скважин и значительно снизить влияние мозаичности на продуктивность скважины [1].

## **Выводы**

В современных реалиях, учитывая, что большинство месторождений Татарстана, а в частности и Ромашкинское, находятся на поздних стадиях разработки, совершенно очевидно, что бурение с применением ГТ становится наиболее целесообразным. Особенно важно применять системы разработки с ГС на месторождениях с высокой геологической неоднородностью, разрозненностью, и наличием зон вклинивания.

## **Библиография**

1. Хисамов Р.С., Хакимзянов И.Н., Петров В.Н., Шешдиров Р.И., Зиятдинов А.Г., 25-летний опыт становления технологии бурения скважин с горизонтальным окончанием в Республике Татарстан. Георесурсы. 2017. Т. 19. № 3. Ч. 1. С. 159-165.
2. Идиятуллина З.С. Применение скважин с горизонтальным окончанием для разработки трудноизвлекаемых запасов нефти в карбонатных коллекторах на месторождениях ПАО «Татнефть». Альметьевск. 2015. 28 с.
3. Хакимзянов И.Н. Теория и практика разработки нефтяных месторождений скважинами с горизонтальным окончанием. Дис. док. техн. наук. Бугульма. 2012. 388 с.
4. Бердин, Т.Г. Проектирование разработки нефтегазовых месторождений системами горизонтальных скважин / Т.Г. Бердин. - Москва: ООО «Недра-Бизнесцентр». -2011. - 199 с.
5. Идиятуллина, З.С. Повышение эффективности выработки запасов нефти из слабопроницаемых слоистых коллекторов на месторождениях Республики Татарстан / З.С. Идиятуллина, А.И. Арзамасцев, Л.М. Миронова. - Территория «Нефтегаз». – 2012. – № 4. – С. 44-49.
6. Петров В.Н., Миронова Л.М. Мониторинг применения скважин с горизонтальным окончанием и проводкой дополнительных стволов, реализованных за счет внедрения новых технологий бурения и эксплуатации на участках месторождений ПАО «Татнефть». Бугульма. Институт ТатНИПИнефть, ООО «Наука». 2016. 155 с.
7. Хисамов Р.С. Эффективность выработки трудноизвлекаемых запасов. Альметьевск, АГНИ, 2008, 188 с.

**Компьютерное моделирование эффективной промывки горизонтальных скважин  
Казаку В.В.\* (МГРИ, [isuperc86@yandex.ru](mailto:isuperc86@yandex.ru)), Соловьев Н.В. (МГРИ,  
[solovyevnv@mgri.ru](mailto:solovyevnv@mgri.ru))**

### Аннотация

Одним из наиболее важных вопросов строительства направленных скважин является проблема эффективной транспортировки из скважины частиц шлама. Неэффективная очистка скважины является первопричиной накопления выбуренной породы в стволе. Решением данной проблемы является использование нового метода промывки, а также её компьютерное моделирование, для оценки рисков и наглядности процесса.

### Ключевые слова

Наклонно-направление бурение, вынос шлама, моделирование процесса промывки, пульсирующий метод промывки.

### Теория

Самая распространенная проблема, которая вызывается из-за скопления выбуренной породы в стволе скважины, является механический прихват бурильной колонны. Примерно 30 % всех прихватов в вертикальных скважинах связаны с проблемой очистки ствола, а в наклонно-направленных и горизонтальных скважинах – более 80 %. «Шламовые подушки» являются причиной посадок при спуске бурильной колонны и зарезке боковых стволов. Скапливающаяся в скважине выбуренная порода весьма усложняет проходимость каротажных приборов. При этом нередко появляется нужда в дополнительной проработке скважины. В этом случае, также вызываются проблемы при спуске обсадных колонн [3,4].

По характеру движения промывочной жидкости промывка бывает стационарной, импульсной и комбинированной [1].

Были смоделированы схемы промывки в программе Solid Works. Программа позволяет рассчитать широкий спектр задач с учетом реальных условий. Движение текучей среды моделируется при помощи системы уравнения Навье-Стокса, описывающих нестационарные процессы законами сохранения импульса, массы и энергии этой среды:

$$\rho \frac{d\omega_x}{d\tau} = -\frac{\partial p}{\partial x} + \mu \nabla^2 \omega_x$$

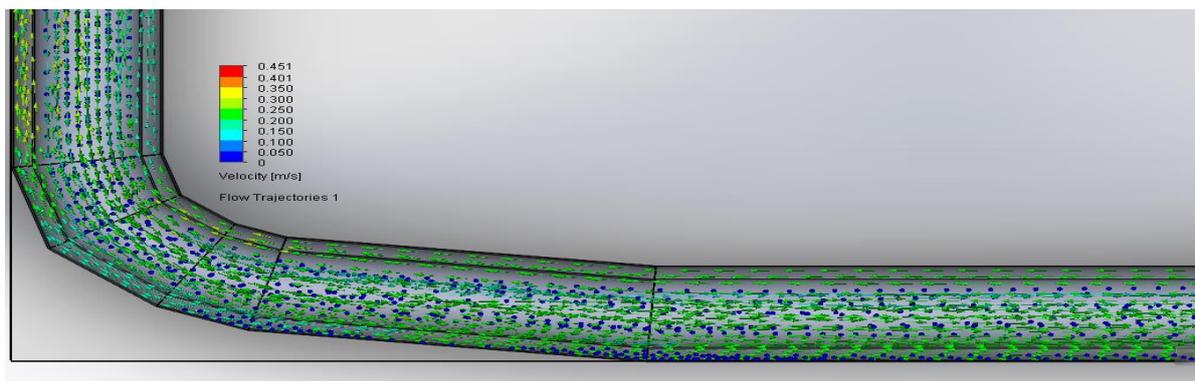
$$\rho \frac{d\omega_y}{d\tau} = -\frac{\partial p}{\partial y} + \mu \nabla^2 \omega_y$$

$$\rho \frac{d\omega_z}{d\tau} = -\rho g - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \nabla^2 \omega_z$$

В качестве граничных условий могут быть заданы:

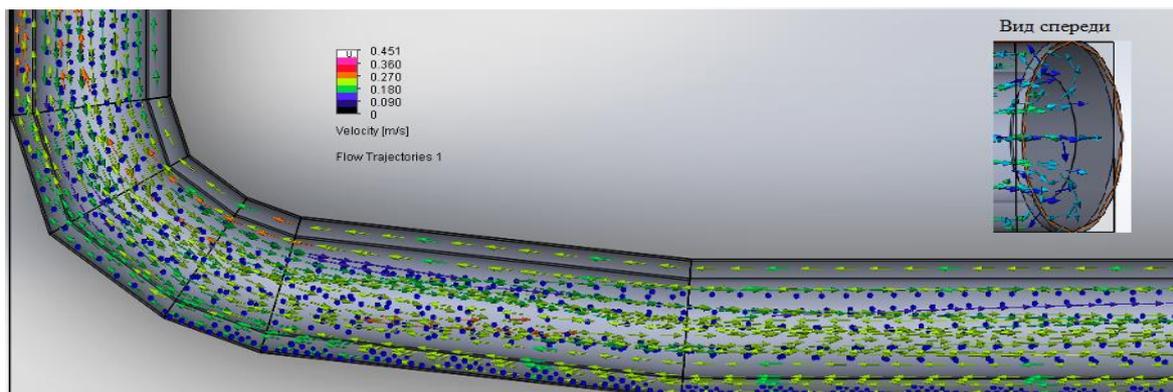
- Условия на стенке
- Параметры потока на входе и выходе с учетом теплообмена
- Теплопритоков
- Притоков жидкости

На рисунке 1 нами смоделировано движение шлама в модели “горизонтальная скважина”. Из рисунка заметно, что частицы шлама осаждаются не только в горизонтальном участке скважины, но и на нижней стенке наклонно-направленном стволе. При этом в местах скопления шлама образуется “постель”, которая мешает дальнейшему выносу [2,4]. Причиной нарушения эффективной промывки ствола скважины являются не только гидродинамические показатели бурения, но и геометрия затрубного пространства и профиля ствола скважины.



**Рисунок 1.** Векторы распределения скоростей и частицы шлама в не(модель скважины).

На рисунке 2 нами смоделировано движение шлама в модели “горизонтальная скважина”. Из рисунка заметно, что частицы шлама передвигаются пульсирующим потоком, образуя движущиеся дюны не только в горизонтальном участке скважины, но и на нижней стенке наклонно-направленном стволе. При этом обеспечивается эффективный вынос шлама по всему стволу скважины.



**Рисунок 2.** Векторы скоростей с частицами шлама при пульсирующем потоке (модель скважины).

## **Выводы**

В заключении хочется отметить, что шлам, накопленный в горизонтальном участке скважины эффективнее промывается пульсирующим потоком промывочной жидкости. Также при использовании компьютерного моделирования действительно складывается модель образования дюн, полностью отражается поведения шлама в скважине, т.е. модель работает и ее можно рекомендовать к применению.

## **Благодарности**

Преподавателям кафедры СТБС Овезову Б.А. и Щербаковой К.О. за предоставление научного материала и помощи в реализации статьи.

## **Библиография**

1. Иванников В. И., Иванников И. В., Вопросы промывки горизонтальных скважин при бурении. // Инженер-нефтяник. – 2009, №1. – с.8÷13.
2. Пушмин П. С., Романов Г. Р. Проблемы промывки наклонно-направленных скважин// Известия Сибирского отделения секций наук о Земле РАЕН.-2014. – №3.
4. Райхерт Р. С., Цукренко М. С., Оганов А. С., Техничко-технологические решения по очистке наклонно-направленных и горизонтальных стволов скважин от шлама// Нефть. Газ. Новации.-2016. – №3.
4. Савоськин С. В, Шведова И. Н. Наклонно-направленное разведочное бурение: преимущества, проблемы и способы решения// Геология, география и глобальная энергия.-2014.-№4.
5. Тунгусов С. А. Изучение влияния пульсирующей промывки на вынос шлама при бурении наклонно-направленных скважин // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2008.–№ 5. – С.18-21.

*Аппаратный комплекс для увеличения количества передаваемой информации в процессе бурения*

*Календарова Л.Р.\* (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, kalendarova.leyli@mail.ru),  
Чекалов А.Ю. (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, ayshekalov@gmail.com), Овезов Б.А.  
(РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, ovezovba@mgri.ru), Соловьев Н.В. (РГГРУ им.  
Серго Орджоникидзе, solovevny@mgri.ru)*

**Аннотация**

В нефтегазовой индустрии в настоящее время измерения в процессе бурения стали неотъемлемой частью бурового процесса. Большинство сервисных компаний оказывают данную услугу, однако скорость передачи данных с забоя скважин не удовлетворяют развитию современной отрасли.

В данной работе рассматривается вариант комбинирования двух каналов передачи данных, которые помогут решить проблемы с затуханием сигнала на скважинах любой информативности.

**Ключевые слова**

Комбинированный канал связи, троичное кодирование, гидравлический и акустический канал связи, трит.

**Источники финансирования**

Исследование проводится при поддержке Фонда содействия инновациям по Договору № 566ГУЦЭС8-D3/62066 от 08.10.2020.

**Теория**

Одним из первостепенных ориентиров для решения целей, поставленных перед нефтегазовой отраслью, является совершенствование технологии бурения наклонно-направленных и горизонтальных скважин в сложных геологических условиях.

На сегодняшний день производительное управление процессом бурения скважин невозможно без оперативного контроля забойных параметров, описывающих протекание технологического процесса бурения. Исследование и разработка канала связи между забоем и устьем скважины имеет большое значение, потому что на данный момент не существует канала связи, обеспечивающего надежную передачу сигнала в процессе бурения сверхглубоких скважин.

Отметив тенденцию бурения сверхглубоких скважин, широкое распространение среди всех телесистем получил гидравлический канал связи, так как его можно использовать на глубинах свыше 7 км. Еще одним плюсом гидравлического канала связи является то, что в качестве канала связи используется столб бурового раствора в бурильной колонне, а, следовательно, не требуется дополнительных затрат на организацию канала связи [5].

Основным недостатком применения гидравлического канала является малая пропускная способность и малая информативность сигнала. Скорость передачи данных

составляет примерно 3 бит/с при кодировании в двоичной системе счисления, что недопустимо медленно [3].



Рисунок 1. Комбинирование гидравлического и акустического каналов связей

В настоящее время интерес к троичной системе в зарубежных средствах научной информации заметно возрос. Троичное кодирование пользуется популярностью во многих отраслях науки, однако в нефтегазовом деле он до сих пор не нашел своего применения. Разрабатываемый аппаратный комплекс за счёт использования троичного кодирования и комбинирования двух каналов связи позволит достигнуть скорости передачи данных в 1,58 раз больше, чем у зарубежных и отечественных аналогов.

Передача информации будет происходить в тритах. Трит — логарифмическая единица измерения в концепции данных, наименьшая единая часть замера числа данных ключей с тремя равновероятными сообщениями. Энтропией в 1 трит обладает ресурс данных с тремя равновероятными состояниями. Иными словами, согласно аналогичности с битом, что «сокращает неосведомленность» об исследуемом предмете в 2 раза, трит «сокращает неосведомленность» в 3 раза. Один трит равен  $\log_2 3$  (приблизительно 1.58496) битам данных. При физиологическом осуществлении троичным функциям в троичной логике отвечают троичные закономерные компоненты, в совокупном случае никак не непременно электрические. Схемы с 3-4-значной логикой предоставляют вероятность уменьшить число применяемых закономерных и запоминающих компонентов и межэлементных сочетаний. Схемы трёхзначной логики свободно реализуются в КМОП-технологические процессы. Трёхзначная закономерность владеет огромной выразительностью, нежели двухзначная [2].

Троичное кодирование на 59% экономнее десятичного и на 5,4% - двоичного. При этом для представления чисел с одинаковой точностью троичных разрядов требуется в 2,10 раза больше, чем десятичных, и в 1,58 раза меньше, чем двоичных. Последнее позволяет в машине последовательного действия при данной тактовой частоте сократить за счет использования троичной системы счисления время выполнения арифметических операций в 1,5–2 раза по сравнению со временем выполнения их с двоичными числами.

При использовании троичной системы счисления можно применять 3 варианта фазы: -1 – нет сдвига фазы; 0 – сдвиг фазы на половину; 1 – сдвиг фазы на 180 градусов.

Использование троичной системы кодирования данных передает больше информации по каналу «забой-устье». Это эффективно использовать на больших глубинах, а на средних же глубинах целесообразно использовать акустический канал связи. Комбинирование двух каналов в акустической телесистеме увеличит скорость и качество передаваемой информации, а установка ретрансляторов по стволу скважины будет препятствовать затуханию сигнала [1].

Применение различных сочетаний комбинированного канала позволяет увеличить дальность передачи информации, улучшить помехоустойчивость, увеличить полосу пропускания и т.д. В последние десятилетия наблюдается тенденция к росту глубин бурящихся скважин. По прогнозам специалистов, в ближайшее время эта тенденция сохранится, а это значит, что все больше скважин будет пробуриваться на глубину более 7000 м. Обычные скважинные каналы забоя с устьем имеют ограниченную дальность действия. Интерес представляет изучение беспроводного комбинированного канала для сверхглубоких скважин [4].

Для реализации задачи передачи информации будет разработан прибор для системы Measurement While Drilling/Logging While Drilling - телеметрии. Прибор будет использовать комбинированный канал связи: акустический, совмещенный с гидравлическим, и передавать информацию в виде троичного кода. Принципиальная схема устройства изображена на рисунке 1.

Инновационность разработки заключается в комбинировании двух каналов связи: акустического и гидравлического, что увеличивает скорость передачи данных и позволяет минимизировать риск затухания сигнала и потери информации. Помимо этого, будет использован метод троичного кодирования получаемых данных.

Основные технические характеристики разработки:

1. Скорость передачи данных до 35 бит/с, достигаемая за счёт использования технологии трюичного кодирования
2. В системе будут установлены 2 ретранслятора акустического сигнала для препятствия затухания сигнала
3. Будут использованы 3 положения системы передачи информации, позволяющие передавать сигнал в виде трюичного кода.
4. Компоненты в стандартной конфигурации разрабатываемого аппаратного комплекса будут работать при температуре до 150 градусов Цельсия.
5. Разрабатываемый аппаратный комплекс будет эффективен при бурении скважин на глубине более 7000 м.

Существует ряд разработок зарубежных и отечественных компаний, направленных на решение той же проблемы, что и текущая разработка. Конечными потребителями продукта станут операторские и сервисные компании, задействованные в сфере нефтегазовой промышленности и разведки нефтяных и газовых месторождений, и заинтересованные в увеличении скорости передачи данных в процессе бурения.

## **Выводы**

Передача информации по комбинированному каналу связи дает следующие преимущества по сравнению с гидравлическим каналом связи. Во-первых, повышается точность передачи сигнала с забоя на устье скважины. Во-вторых, частотный диапазон передачи сигнала шире, и его верхняя граница выше, что позволяет передавать данные с большей скоростью, и, соответственно, более оперативно управлять процессом бурения. В-третьих, облегчаются условия приема сигнала на выходе канала. В-четвертых, возможно дальнейшее увеличение дальности передачи до 7000 метров и более.

## **Благодарности**

Выражаю благодарность сотрудникам Российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе (МГРИ) за помощь в развитии научного проекта: проректору по международной деятельности и региональному сотрудничеству Машковой Анастасии Михайловне, заведующему кафедры современных технологий бурения скважин, доктору технических наук и научному руководителю проекта, профессору Соловьеву Николаю Владимировичу, преподавателям кафедры современных технологий бурения скважин Овезову Батыру Аннамухаммедовичу и Щербаковой Ксении Олеговне, а так же студенту факультета технологии разведки и разработки Нестеренко Сергею.

## **Библиография**

1. Акустический способ передачи информации с забоя при турбинном бурении скважин / С. В. Слинкина, Х. Н. Музипов // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. - 2015. - № 12. - С. 6-10 : 5 рис. - Библиогр.: с. 10 (5 назв.)

2. Алфутова Н.Б. Устинов А.В. Алгебра и теория чисел: Сборник задач для математических школ. - М.: МЦНМО, 2002. - 264 с.
3. Вольгемут Э.А., Греков С.В. Разработка основ телеметрической системы контроля забойных параметров в процессе бурения с гидравлическим каналом связи// НТЖ «Нефтегазовое дело». - Уфа: Изд-во УГНТУ, 2005.
4. Патент РФ № 2013133000/03, 2013.07.16. Забойная телеметрическая система с наддолотным модулем и способ беспроводной передачи ее данных на земную поверхность// Патент России № 2549622. 2015. / Шайхутдинов Р.А., Чупров В.П.
5. Учебное пособие по дисциплине «Буровые промывочные и тампонажные растворы» / МГРИ-РГГРУ; сост. Соловьев Н.В. – Москва: МГРИ-РГГРУ, 2013. – 50 с.

*Исследование перспективных тампонажных смесей с добавлением углеродных материалов для крепления скважин.*

*Ковальчук В.С.\* (Санкт-Петербургский горный университет, vlada.1995@inbox.ru),  
Николаев Н.И. (Санкт-Петербургский горный университет, nikinik@mail.ru)*

**Аннотация**

В данной работе рассматриваются вопросы повышения эффективности цементирования скважин в осложненных условиях. Тенденции экологически чистого и безопасного производства внедряются во все отрасли промышленности и диктуют нормы качества для внедрения новых технологий, способов и составов. Представлены несколько углеродных материалов, которые используются в качестве добавок в цементные растворы. Выбор добавки обусловлен решением проблемы утилизации углеродсодержащих компонентов, например, полученных в результате процессов горения и осаждения. Оценено оптимальное содержание углеродных материалов и пластификаторов в вяжущем, что позволяет получить высокие механические свойства цементного камня по сравнению с раствором без добавок. Определено, что необходимы небольшие дозы модификаторов для оптимального действия на свойства цементного камня. Рассмотрены физико-механические и эксплуатационные свойства модифицированной тампонажной смеси. Приведен сравнительный анализ влияния трех видов сажи и определен наиболее эффективный для использования в качестве добавки в тампонажные смеси углеродсодержащий материал. Экспериментальные результаты модификации тампонажных смесей углеродными материалами показали повышенную прочность и пониженную проницаемость цементного камня относительно образцов без добавок, наряду с соответствием тампонажных растворов всем технологическим параметрам.

**Ключевые слова**

Бурение скважин, тампонажный состав, углеродные материалы, цемент, строительство скважин.

**Источники финансирования**

Исследование выполнено при финансовой поддержке Фонда содействия инновациям (15486ГУ/2020).

**Теория**

Сегодня проблема качественного цементирования скважин в осложненных условиях изучается во всем мире. Тенденции высокоэффективного и экологически чистого производства диктуют нормы качества для внедрения новых технологий, способов и составов.

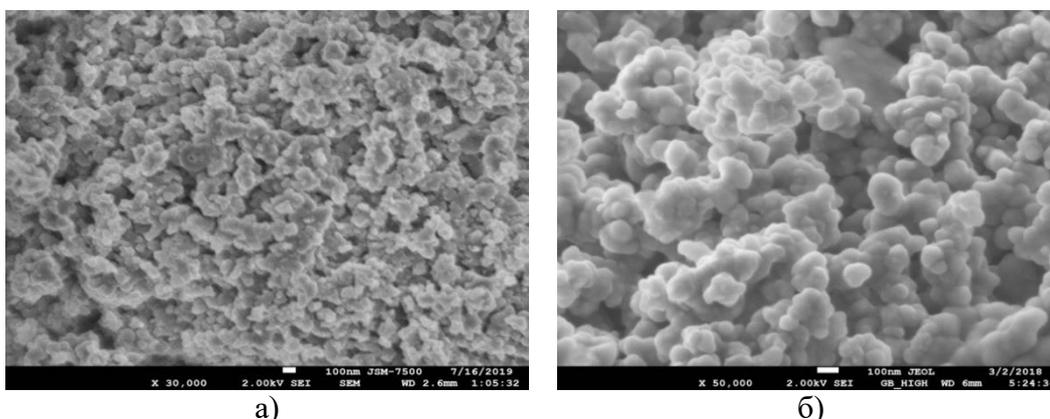
Зола-уноса или летучая зола могут быть использованы в качестве дополнительного вяжущего материала для производства бетона из-за ее желаемой пуццолановой активности. В статьях [1, 2, 3] предложено использование бетонов и цементов с большим количеством летучей золы. Положительные результаты исследований обоснованы ресурсосберегающим, долговечным и устойчивым решением по внедрению или замещению цемента золой-уноса. Единственным значимым

отрицательным фактором являются пониженные прочностные свойства на начальном этапе твердения цементов с добавками из летучей золы.

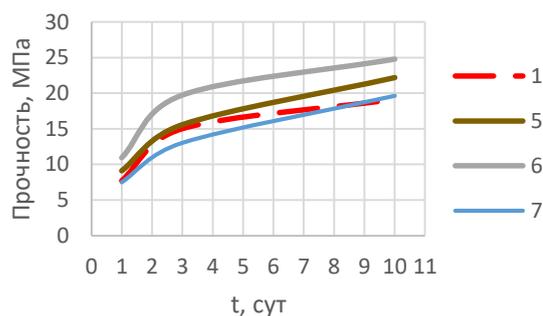
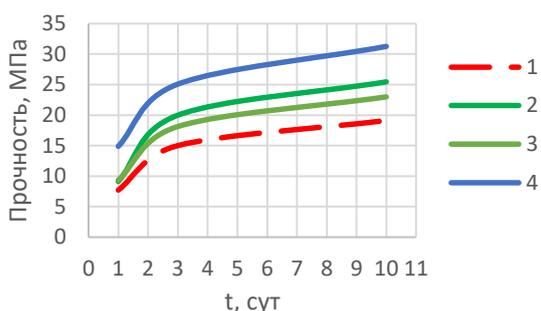
Другой перспективной добавкой является технический углерод - широко используемый промышленный продукт. В статьях [4, 5, 6] испытания показали, что скорость коррозии и проникновение хлорид-ионов снижается с увеличением содержания сажи. Также было определено, что добавка технического углерода в цементную смесь может использоваться в сочетании с любыми другими средствами защиты от коррозии. Технический углерод является отходом различных теплоэнергетических установок, не утилизируемые запасы которой наносят непоправимый вред окружающей среде.

Проанализированные мировые исследования по использованию углеродных материалов в качестве добавки в бетоны, композиты и цементы показали неоднозначность влияния углеродных материалов на качество цементного камня для крепления скважин. Применение углерода теоретически и практически должно быть эффективно, что фокусируется на современные тенденции к безотходному производству и улучшению экологической ситуации.

При проведении экспериментальных исследований, в качестве основы для тампонажных растворов использовались портландцемент марки ПЦТ-I-50, глиноземистый цемент ГЦ-40 и высокоглиноземистый цемент ВГЦ-II, а также добавки в виде трех видов сажи и различных пластификаторов, повышающих подвижность цементного раствора. Оптимальные процентные соотношения реагентов с объемом воды затворения и друг с другом подбирались опытным путем с применением теории планирования эксперимента, с учетом их совместимости и основных параметров получаемой тампонажной смеси и цементного камня. Экспериментальные исследования проводились в лаборатории буровых и тампонажных растворов (кафедра бурения скважин, Санкт-Петербургский горный университет). Структурно-реологические параметры тампонажных составов и физико-механические свойства цементного камня исследовались согласно российским и международным стандартам: ГОСТ 26798.1-96, ГОСТ 310.2 и ISO 10426-1. На рисунке 1 представлены изображения, полученный при проведении электронной микроскопии углеродных материалов на сканирующем электронном микроскопе JSM-7500F. На рисунке 2 представлены результаты прочностных свойств цементного камня через 1, 3, 7 и 10 суток в виде графиков.



**Рисунок 1.** Электронное изображение образца технического углерода: а) 30 000 X увеличение б) 50 000 X увеличение. Измерительная белая шкала на снимке 100 нанометров (100 nm).



Графики набора прочности образцов цементного камня с добавлением технического углерода.

## Выводы

Применение углеродных материалов в качестве добавок в цементные растворы решает не только проблему качественного крепления скважин, но и дает возможность утилизировать углеродсодержащие компоненты, например, полученные в результате процессов горения и осаждения.

Экспериментальные результаты модификации тампонажных смесей углеродными материалами показали повышенную прочность цементного камня и пониженную проницаемость цементного камня относительно образцов без добавок, наряду с соответствием тампонажных растворов всем технологическим параметрам. Рост прочности цементного камня на одноосное сжатие связан с механизмом взаимодействия цемента с углеродными материалами и пластификаторами, которые на молекулярном уровне склеивают частицы цемента и создают плотную структуру при затвердении тампонажной смеси. Наиболее оптимальное количество углеродных материалов составило 0,5-2% от массы цемента. При увеличении содержания их наблюдается ухудшение прочностных характеристик тампонажной смеси в первую неделю затвердения. Было определено, что внедрение пластификаторов положительно влияет на тампонажные растворы с добавкой углеродных материалов. Так, происходит увеличение подвижности цементного раствора, что ведет к повышению его прочности и снижению пористости. Благодаря высоко распространенному и дешевому углероду наблюдается микроармирование кристаллической решетки, снижение количества порового пространства в цементном камне, защита поверхности металлических обсадных труб и снижение вредного химического загрязнения подземных флюидов и горных пород. Таким образом, добавка углеродсодержащих материалов обеспечивает микроармирование цементного камня и препятствует распространению в нем трещин. Данные выводы позволяют утверждать о перспективном применении углеродных материалов в качестве добавок в цементные растворы для строительства скважин.

## Благодарности

Авторы благодарят Мойсу Ю.Н. директора НПО «Химбурнефть» за неоценимую поддержку в течение всего проекта.

## Библиография

1. Wang Zhijuan and Song Yuanming 2016 Adsorption properties of CFBC ash–cement pastes as compared with PCC fly ash–cement pastes *International Journal of Coal Science & Technology* 3
2. Naidu P V and Pandey P K 2014 Replacement of cement in concrete *International journal of environmental research and development* 4 1 pp 91-98
3. Phul A A, Memon M J, Shah S N R and Sandhu A R 2019 GGBS and fly ash effects on compressive strength by partial replacement of cement concrete *Civil Engineering Journal* 5 4 pp 913-921
4. Masadeh S 2015 The effect of added carbon black to concrete mix on corrosion of steel in concrete *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering* 3 04 p 271
5. Perfilov V A and Zubova M O 2015 The impact of carbon additives on the properties of fine-grained fibrous concrete *Internet-Vestnik VolgGASU* 1 37 p 10
6. Singh M and Vander Wal, R L 2019 Nanostructure quantification of carbon blacks C-*Journal of Carbon Research* 5 1 p 2

*Методика определения рабочих характеристик винтовых забойных двигателей при проектировании оборудования для бурения нефтяных и газовых скважин*  
**Арсентьев Ю. А.**, (Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе, Москва, Россия, [arsentev1956@yandex.ru](mailto:arsentev1956@yandex.ru), доцент.) **Назаров А.П.**, (Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе, [al.naz@mail.ru](mailto:al.naz@mail.ru), доцент.) **Козлов Н.С.\***, (Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе, ООО «Газпром проектирование», Московский филиал, [nktkzlv@gmail.com](mailto:nktkzlv@gmail.com), студент РТБ-16) **Иванов Д.А.**, (компания «Weatherford», Москва, Россия, [dexhouse@ya.ru](mailto:dexhouse@ya.ru), инженер по бурению) **Нгуен Тиен Хунг**, Ханойский горно-геологический университет, [rggu1@gmail.ru](mailto:rggu1@gmail.ru), доцент)

## **Аннотация**

Наиболее широкое распространение среди известных типов привода лопастных долот в процессе бурения нефтяных и газовых скважин имеет винтовой забойный двигатель (ВЗД). Для безаварийной работы системы «силовой привод - долото» необходимо, чтобы планируемый к применению тип ВЗД обладал техническими характеристиками, не допускающими его перегрузки и создающими условия для эффективного разрушения горных пород забоя скважин [2,3,4]. Подобного соответствия технических характеристик ВЗД и технологических параметров процесса бурения можно достичь путём выполнения предварительного определения его рабочих характеристик в зависимости от горно-геологических условий и конструктивных особенностей лопастного долота. В настоящей работе изложена методика расчёта рабочих характеристик ВЗД и приведён практический пример выбора необходимого типа ВЗД для конкретных горно-геологических условий и диаметра лопастного долота.

## **Ключевые слова**

система «силовой привод – долото», винтовой забойный двигатель, рабочие характеристики.

## **Теория**

В настоящее время наиболее распространённым силовым приводом лопастных долот в процессе сооружения нефтяных и газовых скважин является винтовой забойный двигатель (ВЗД), преобразующий гидравлическую энергию бурового раствора в механическую энергию вращения долота.

Для обеспечения безаварийной работы системы “силовой привод - долото” необходимо, чтобы планируемый к применению тот или иной тип ВЗД обладал техническими характеристиками, не допускающими его перегрузки и создающими условия для эффективного разрушения горных пород в процессе бурения скважины.

Подобного соответствия характеристик ВЗД и режимных параметров процесса бурения можно достичь путём выполнения предварительного расчёта по определению крутящего момента на долоте, величина которого зависит от горно-геологических условий и конструктивных особенностей лопастного долота.

При этом следует отметить, что крутящий момент на долоте принимается авторами в качестве базовой расчётной характеристики, знание которой позволит в

дальнейшем найти и другие расчётные характеристики ВЗД, в том числе: дифференциальный перепад давления, подачу бурового раствора, частоту вращения долота.

Однако для производства вычислений необходимо первоначально собрать сведения о механических свойствах горных пород и определить с учётом геологического разреза месторождения и конструкции скважины напряжения смятия ( $\sigma_{см}$ ) и напряжения скалывания ( $\sigma_{ск}$ ), значения которых непосредственно зависят от плотности горных пород и глубины их залегания. А также предложить, опираясь на классификацию выбора долот PDC в соответствии с кодом IADC и конструкцию скважины, рассмотреть возможность применения долота PDC 215,9 мм для бурения скважины в интервале 1200м - 3200м, представленного песчаниками с прослоями глин (2-4 категория твёрдости), а также алевролитами и аргиллитами (4-5 категория твёрдости), под эксплуатационную колонну диаметром 168 мм.

Долото PDC 215,9 характеризуется следующими параметрами: диаметр - 215,9 мм; 7 лопастей, на каждой из которых в среднем по 10 резцов; диаметр резцов – 13 мм; угол установки резцов –  $75^\circ$ ; максимальная осевая нагрузка на долото 100 кН; расход промывочной жидкости 30-40 л/с; частота вращения 80-400 об/мин.

Выбор винтового забойного двигателя будет выполняться в следующем порядке:

1. Проверяется, например, возможность использования в качестве привода вращения долота PDC диаметром 215,9 мм ВЗД типа ДРУ-172 BULAVA EXTREME, характеристика которого приведена в таблице 1.

Таблица 1.

Характеристика ДРУ-172 BULAVA EXTREME

Расход промывочной жидкости	25 – 35 л/с
Максимально допустимый дифференциальный перепад давления	115 атм
КПД двигателя	0,5
Максимально допустимый крутящий момент	1645 кг*м

2. Определяется крутящий момент на долоте, возникающий в процессе разрушения горных пород забоя скважины. Для этой цели следует воспользоваться формулой, приведённой в работе [1]

$$M_{кр} = \frac{m^2 Di}{4} \left[ P_p f + \sigma_{ск}(1 + tg\varphi) \frac{\pi \sqrt{d_p} \delta_p^{\frac{3}{2}} \sin \alpha + 2 \delta_p^2 \sin(\alpha - \alpha_1)}{2 \sin \alpha_1 \sin \alpha} K \right] . \quad (1)$$

Где:  $m$  – количество лопастей;  $D$  – диаметр долота, м;  $i$  – среднее число резцов на лопасти долота;  $P_p$  – осевая сила на резец, Н;  $f$  – коэффициент трения резцов о породу;  $\sigma_{ск}$  – напряжение скалывания, Па;  $\varphi$  – угол внутреннего трения;  $d_p$  – диаметр резцов PDC, м;  $\delta_p$  – глубина внедрения резца, м;  $\alpha$  – угол установки резцов PDC,  $^\circ$ ;  $\alpha_1$  – угол скалывания,  $^\circ$ ;  $K = (\sin \alpha - 2f \cos \alpha - f^2 \sin \alpha)$ .

Значения крутящего момента  $M_{кр}$ , возникающего на долоте, в зависимости от режимных и конструктивных параметров, имеющих место в формуле (1), представлены в таблице 2.

Следует отметить, что крутящий момент, возникающий на долоте, при одинаковой осевой нагрузке 100 кН в интервале 1200 м - 3200 м варьируется в диапазоне от 8520 Н\*м (868 кгс\*м) до 8600 Н\*м (876 кгс\*м), т.е. практически не изменяется с увеличением глубины.

Таблица 2.

Результаты расчета крутящего момента

Параметр	Глубина скважины		
	1200 м	2100 м	3200 м
$P_d, Н$	100000	100000	100000
$\sigma_{см}, Па$	11600000	20800000	16750000
$\sigma_{ск}, Па$	2300000	4150000	3350000
$M_{кр}, Н*м$	8600	8524	8550

3. По графику, показанному на рисунке, для планируемого к использованию ВЗД типа ДРУ-172 BULAVA EXTREME и расчётного значения крутящего момента на долоте, находим рабочий дифференциальный перепад давления ( $\Delta P_{раб.}$ ), который составляет 50% от максимального перепада ( $\Delta P_{max}$ ). При этом, для определения  $\Delta P_{раб.}$ , используем максимальное, из всех расчётных, значение крутящего момента, равное 8600 Н м (876 кг\*м).

Тогда рабочий дифференциальный перепад давления составит 56 атм, а максимальный перепад давления  $\Delta P_{max}$  будет соответственно равен

$$\Delta P_{max} = 2P_{раб.} = 2 * 56 = 112 \text{ атм} .$$

4. Расход промывочной жидкости, требуемый для обеспечения эффективной работы двигателя и интенсивного выноса на поверхность шлама, принимается согласно заявленным паспортным характеристикам ВЗД и применяемого долота, равным  $Q = 30$  л/с.

5. Определяется частота вращения вала ВЗД с учетом следующих соображений. Известно, что крутящий момент пропорционален перепаду давления, а именно

$$\Delta P_{раб} V \eta = 2\pi M_{кр} \quad (2)$$

Тогда объём полостей винтового двигателя будет равен

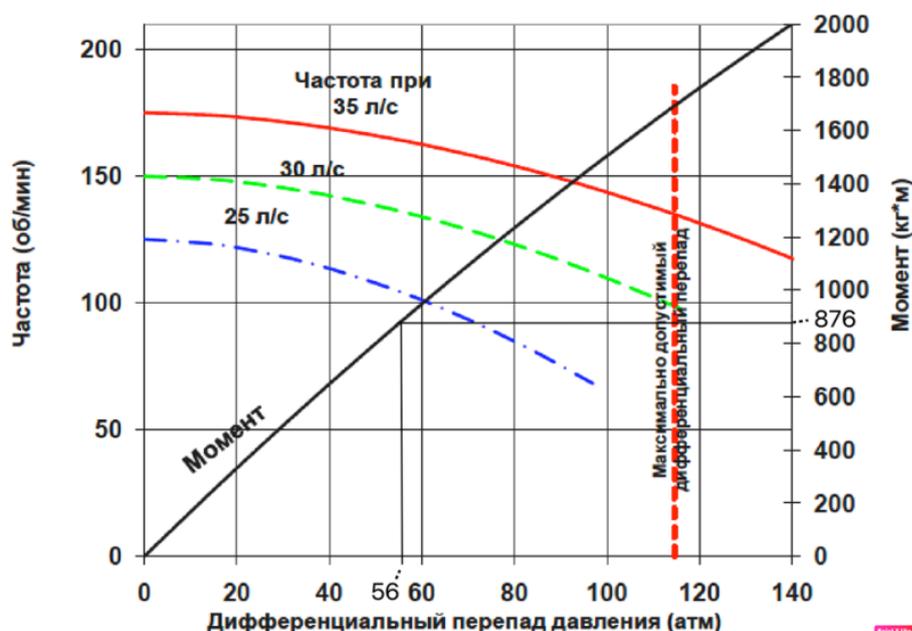
$$V = \frac{2\pi M_{кр}}{\Delta P_{раб} \eta} \quad (3)$$

Но частота вращения будет определяться по формуле

$$n = \frac{60Q}{V} \quad (4)$$

Или окончательно, с учётом результата (2) и простейших преобразований, получим

$$n = \frac{30Q \Delta P_{раб} \eta}{\pi M_{кр}} \quad (5)$$



**Рисунок 1.** Графики изменения рабочих характеристик ВЗД типа ДРУ-172 BULAVA EXTREME.

Так при условии, что  
 $Q = 30 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ ;  $\Delta P_{\text{раб.}} = 5,6 \cdot 10^6 \text{ Па}$ ;  $M_{\text{кр}} = 8600 \text{ Н*м}$ ;  $\eta = 0,5$  имеем  

$$n = \frac{30 \cdot 30 \cdot 10^{-3} \cdot 5,6 \cdot 10^6 \cdot 0,5}{3,14 \cdot 8600} = 93,3 \approx 95 \text{ об/мин}$$

Итак, требуемые расчётные характеристики планируемого к применению ВЗД определены и представлены в таблице 3.

Таблица 3.  
Расчётные характеристики ВЗД

Параметр	Величина
$\Delta P_{\text{max}}$ , атм	112
$M_{\text{кр}}$ , кг*м	876
n, об/мин	95
Q, л/с	30

## Выводы

Анализ полученных результатов показывает, что характеристики планируемого для привода вращения долота ВЗД, типа ДРУ-172 BULAVA EXTREME, соответствуют требуемым расчётным значениям, а указанный тип ВЗД рекомендуется для включения его в состав КНБК.

## Библиография

1. Арсентьев Ю.А., Соловьёв Н.В., Нгуен Тиен Хунг. Теоретическое обоснование оптимального диапазона угла установки резцов долот PDC для бурения в перемежающихся по твёрдости горных породах месторождения «Южный Дракон и

- ДойМой(СРВ)», Научно-технический журнал «Инженер-нефтяник», М., 2017г., №2 с. 12-16.
2. Арсентьев Ю.А., Соловьёв Н.В., Назаров А.П., Лимитовский А.М. Влияние угла установки резца PDC лопастного долота на механическую скорость бурения скважин в перемежающихся по твёрдости горных породах. Горный журнал, М.,2018г., №11 с.47-50
  3. Нескоромных В. В., К. И. Борисов. Аналитическое исследование процесса резания-скалывания горной породы долотом с резцами PDC. Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ]. 2013. – Т. 323, № 1: Науки о Земле. - С. 191-195.
  4. Соловьёв Н.В., Арсентьев Ю.А., Нгуен Тиен Хунг, Курбанов Н.Х. Теоретический метод обоснования конструктивных параметров долот режуще-скалывающего действия. Научно-технический журнал «Инженер-нефтяник», М., 2015г., №3 с.16-25.

*Развитие отечественных LWD-технологий. Разработка наддолотного модуля  
Кононенко Л.П.\* (МГРИ, levkononenko777@gmail.com),  
Соловьев Н.В. (МГРИ, solovyevnv@mgri.ru), Овезов Б.А. (МГРИ, ovezovba@mgri.ru)*

## **Аннотация**

Наддолотный модуль предназначен для измерения геофизических и технологических параметров непосредственно около долота, в процессе бурения гидравлическими забойными двигателями и передачи информации материнской телесистеме [2], [3].

## **Ключевые слова**

Наддолотный модуль, бурение, геонавигация, скважина, LWD, .

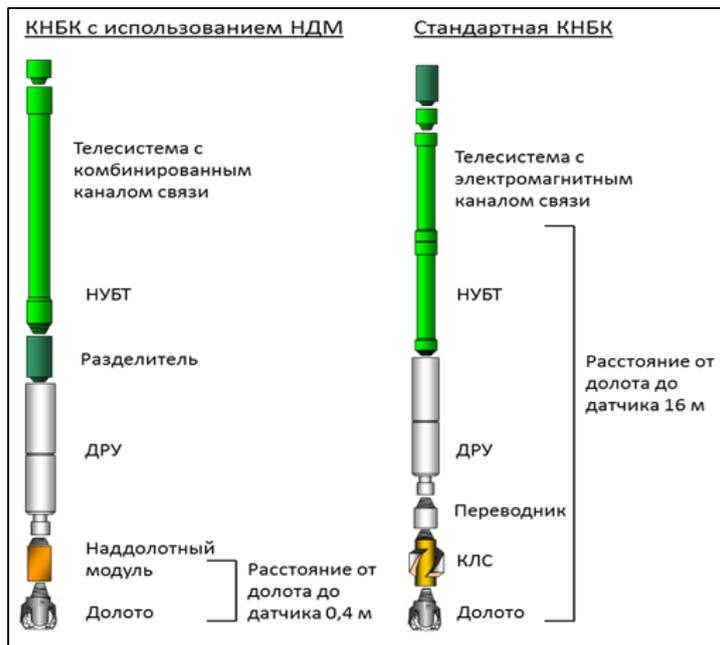
## **Теория**

В процессе бурения горизонтальных скважин фактические абсолютные отметки кровли продуктивных пластов могут быть смещены относительно проекта, а так как расстояние от долота до инклинометрических и геофизических датчиков составляет порядка 16 метров (рисунок 1), то присутствует риск выхода из толщи продуктивного пласта, что в свою очередь приводит к дополнительным временным и материальным затратам. Использование в КНБК наддолотного модуля позволяет избежать этой проблемы.

Задачи, которые решает НДМ:

- Литологическое расчленение разреза по каротажу ГК и КС;
- Безаварийная проходка прихватоопасных интервалов, сложенных глинами, склонными к осыпанию;
- Определение точки спуска обсадной колонны;
- Вскрытие продуктивного пласта без проведения привязочного каротажа;
- Бурение протяженных горизонтальных участков небольшой мощности с минимизацией риска выхода из коллектора;
- Выход на оптимальный режим бурения за счет контроля измеряемых технологических параметров;
- Определение границ и характера наклона пластов (падающий, восходящий) по ГК;
- Контроль технического состояния забойного двигателя;
- Навигация в пласте по ГК.

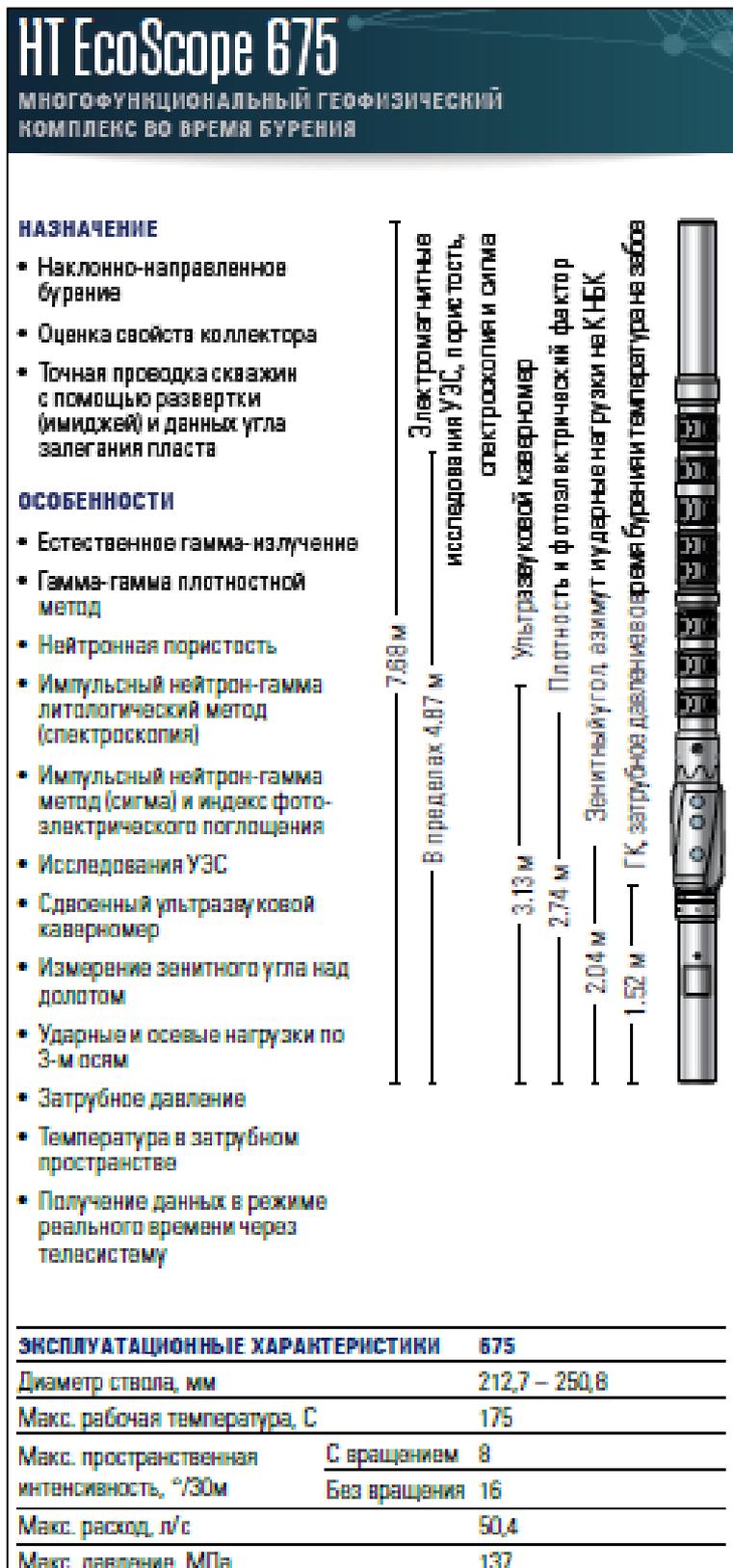
Таким образом, применение НДМ в процессе бурения экономит время на вскрытие и проводку горизонтального ствола и сокращает финансовые затраты и время на строительство скважины.



**Рисунок 1.** Включение в КНБК наддолотного модуля позволяет получать информацию вблизи долота, что является большим преимуществом при бурении.

На сегодняшний день услуги LWD оказывают только крупные зарубежные компании, такие как: Schlumberger, Halliburton, Baker Hughes и др. Прибор HT EcoScore 675 (рисунок 2) от компании Schlumberger способен работать при максимальной температуре 175°C и максимальном давлении 137 МПа, также, есть отдельные зонды, у которых максимальное рабочее давление 206 МПа (HT adnVISION 675, HT arcVISION 825, HT arcVISION 675). У компании Halliburton большая часть телеметрического и каротажного оборудования Sperry Drilling рассчитана на температуры до 175°C и давления до 172МПа, но есть отдельные датчики, которые надежно работают при высоких температурах и позволяют выполнять бурение в пластах: ExtremeHT-200™ M/LWD 200°C и 138 МПа и датчики UltraHT-230™ M/LWD 230°C и 207 МПа.

Данный вид услуг при этом определяет основную выручку сервисных компаний, занятых в производстве работ по строительству и проводке скважин. Существенный объём работ по LWD на данный момент относится, прежде всего, к бурению горизонтальных участков скважин, которые являются средством доступа к разработке трудно-извлекаемых запасов углеводородов и широко используются при разработке месторождений на шельфе. Горизонтальные технологии способствуют увеличению нефтеотдачи пласта, а, следовательно, и увеличению дебита скважин за счет увеличения площади дренирования, и поэтому играют определенную роль при строительстве скважин [1].



**Рисунок 2.** Многофункциональный геофизический комплекс EcoScore. Эта система обеспечивает полный комплекс измерений для оценки параметров пласта, проводки скважины и оптимизации бурения в одной компактной немагнитной УБТ, что позволяет значительно повысить эффективность работы, уменьшает риск и повышает качество интерпретации данных и точность расчетов добычи и объема запасов [4].

Развитие LWD-технологий на базе отечественных телеметрических комплексов является приоритетным направлением в развитии техники и технологии бурения наклонно-направленных, горизонтальных и многозабойных скважин по Программе импортозамещения (в соответствии с Федеральным законом №488-ФЗ «О промышленной политике в Российской Федерации» и задачами Минпромторга России) [1].

## **Выводы**

Трудно переоценить пользу, получаемую от наддолотного модуля, т. к. он решает множество задач, все они все связаны с безопасностью и эффективностью бурения. Необходима разработка отечественного наддолотного модуля с добавлением интегрированного комплекса измерений.

## **Библиография**

1. Абдрахманов Д.А., Бельков А.В., Будаев Д.А., Хасанов Д.Н., Чупров В.П., Шайхутдинов Р.А., Яхина И.А., Лысенков А.И. «РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИЙ КАРОТАЖА ВО ВРЕМЯ БУРЕНИЯ (LWD) НА БАЗЕ ОТЕЧЕСТВЕННОГО КОМПЛЕКСА ТЕЛЕМЕТРИИ С ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМ КАНАЛОМ СВЯЗИ» Каротажник. 2016. № 7 (265). С. 108-118.
2. Никонов В.А. «Управление процессом проводки горизонтального ствола скважины в режиме реального времени» Нефть. Газ. Новации. 2012. № 12 (167). С. 29-34.
3. Яхшибеков Ф.Р., Абрамов Е.В., Горгоц В.Д., Рябков И.И., Акимов И.В. «Об истинных забойных параметрах при бурении с наддолотным модулем» Нефтяное хозяйство. 2012. № 12. С. 80-83.
4. EcoScore. Многофункциональный геофизический комплекс – URL: [https://www.slb.ru/upload/iblock/b84/broshyura\\_ecoscope.pdf](https://www.slb.ru/upload/iblock/b84/broshyura_ecoscope.pdf) (дата обращения: 25.02.2021).

***Повышение коррозионной стойкости тампонажных материалов в условиях сероводородной агрессии***

***Кураמיшина Э.Р.\* (РГГРУ имени Серго Орджоникидзе, evelina.kuramshina.02@gmail.com), Овезов Б.А. (РГГРУ имени Серго Орджоникидзе, ovezovba@mgrid.ru), Соловьев Н.В. (РГГРУ имени Серго Орджоникидзе, solovyevnv@mgrid.ru)***

**Аннотация**

Сероводород является коррозионноактивным кислым газом, оказывает интенсивное разрушающее действие на металлические конструкционные материалы (трубы, оборудование и т.д.), на многочисленные неметаллические материалы, к которым относятся тампонажные цементы. Это создает серьезную опасность для окружающей среды на поверхности (ввиду высокой токсичности сероводорода), а также экологическому равновесию, как на поверхности, так и в недрах в широком смысле этого слова.

Применяемые в настоящее время тампонажные материалы на шлаковой основе отличаются повышенной стойкостью к воздействию сероводорода. В этой связи особенно актуален комплексный подход к решению проблемы: создание таких способов повышения сероводородостойкости цементного камня в заколонном пространстве скважин, что они одновременно будут обеспечивать эффективную защиту обсадных колонн от поверхностной коррозии.

Улучшение качества крепи скважин с сероводородсодержащей продукцией применением тампонажных составов с повышенной коррозионной стойкостью и защитными свойствами является одной из основных целей данной работы.

**Ключевые слова**

Тампонажные материалы, коррозия, цементирование, сероводородный состав.

**Теория**

Своего совершенствования требуют уже ранее существующие методы исследований цементного камня в агрессивных сероводородсодержащих средах. Поскольку проведение таких испытаний в натуральных условиях, особенно в настоящее время, сопряжено с рядом трудностей, создание методик испытаний на коррозию в соответствии с термобарическими условиями скважин и концентрацией сероводорода в агрессивной среде является не менее актуальным вопросом для определения устойчивости тампонажного камня к коррозии в скважинных условиях.

Для повышения сероводородостойкости цементного камня и его защитных свойств может быть применен комплекс наиболее простых мер, замедляющих процессы коррозии камня и поверхности обсадных колонн. К таким мероприятиям относятся выбор тампонажного цемента с наиболее благоприятным минералогическим составом клинкера, тщательная подготовка ствола скважины, эффективные способы химической обработки тампонажного раствора.

Цементный камень постоянно контактирует с пластовыми флюидами, но в то же время цементное кольцо должно защищать металл обсадных труб от агрессивного воздействия содержащегося в газе сероводорода. Все ранее известные случаи коррозии

металла под цементной оболочкой связаны с тем, что по некоторому ряду причин поверхность металла остается активной, так как она не полностью пассивируется при цементировании скважины или теряет пассивность в процессе эксплуатации.

Повышение коррозионной стойкости цементного камня может быть достигнуто рядом способов, таких как:

- химическая обработка тампонажного раствора, включающая комплекс совместимых с ингибитором реагентов специального назначения так, что в результате проявления синергетического эффекта их взаимодействия обеспечивает улучшение технологических, антикоррозионных и защитных свойств цементного камня ингибированием тампонажных растворов в результате адсорбции органокомплекса веществ на поверхности новообразований камня, одновременно обеспечивающим защиту контактирующего с цементным кольцом металла обсадных колонн от агрессивного влияния сероводорода;
- введение в портландцемент минеральной добавки сидерита, способствующей появлению в цементном камне низкоосновных гидросиликатов кальция при взаимодействии гидроксида кальция с содержащимся в сидерите кремнеземом;
- насыщение жидкости затворения диоксидом углерода с получением седиментационно-устойчивых тампонажных растворов, снижающих вероятность появления микроканалов и обеспечивающих образование при твердении цементного камня стабилизированного фазового состава с низкой газопроницаемостью.

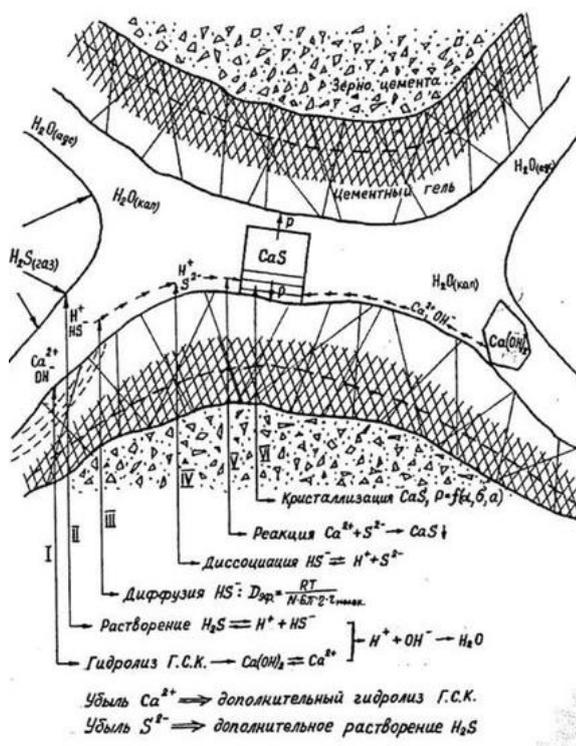


Рисунок 1. Сероводородная коррозия цементного камня

## **Выводы**

Таким образом, при разработке мероприятий, направленных на улучшение состояния цементного кольца и обсадных колонн - элементов крепи скважин с сероводородсодержащей продукцией, обоснованы и предложены способы повышения коррозионной стойкости тампонажных материалов и их защитных свойств к металлу обсадных колонн.

Применение коррозионно-стойких цементов с высокой степенью защиты металлоконструкций способствует повышению надежности эксплуатации скважин в условиях сероводородной агрессии, что является важным фактором обеспечения промышленной и экологической безопасности, увеличения объемов добычи газа и имеет большое значение для газовой промышленности.

## **Благодарности**

Выражаю благодарность сотрудникам Российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе (МГРИ) за помощь в развитии научного проекта: проректору по международной деятельности и региональному сотрудничеству Машковой Анастасии Михайловне, заведующему кафедрой современных технологий бурения скважин, доктору технических наук, профессору Соловьеву Николаю Владимировичу, преподавателям кафедры современных технологий бурения скважин Овезову Батыру Аннамухаммедовичу и Щербаковой Ксении Олеговне, а так же студенту факультета технологии разведки и разработки Нестеренко Сергею.

## **Библиография**

1. Карабалин У.С. Повышение коррозионной стойкости цементного камня одно из направлений повышения экологической безопасности работ в нефтегазовой промышленности // Электронный башкирский химический журнал - 2009.
2. Осадчая И.Л. Повышение коррозионной стойкости тампонажных материалов в условиях сероводородной агрессии: автореферат дис. - Ставрополь, 2013. - 25 с.
3. Саляев В.В. Исследование процесса сероводородной коррозии в тампонажных материалах // Электронный научный журнал «Записки горного института» - 2003.
4. Эрнандес Р.Д. Обоснование и разработка коррозионностойких тампонажных составов для крепления обсадных колонн в условиях агрессивных пластовых флюидов и горных пород: автореферат дис. - Санкт-Петербург - 2019. - 122 с.

*Усовершенствование системы утилизации и переработки буровых отходов в нефтегазодобывающей промышленности*

*Лапыкина А.А.\* (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, lapykinaakina@gmail.com),*

*Чекалов А.Ю. (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, aychekalov@gmail.com),*

*Щербакова К.О. (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, sherbakovak@mgri.ru),*

*Соловьев Н.В. (РГГРУ им. Серго Орджоникидзе, solovyevnv@mgri.ru)*

**Аннотация**

Одна из наиболее актуальных задач нефтегазодобывающей промышленности – снижение уровня опасности для окружающей среды при утилизации буровых отходов.

**Ключевые слова**

Экология; буровые отходы; утилизация; переработка; буровые скважины; нефтешлам.

**Теория**

По приблизительным отметкам специалистов, которые были представлены во время Всероссийской конференции «Эффективные решения актуальных проблем переработки нефтешламов – экологическая безопасность России» в настоящее время на территории Российской Федерации накоплено свыше 3 млн. т. нефтяных шламов, имеющих разное происхождение [1]. Большая часть из них имеет возраст доходящий до нескольких десятков лет. Подобные размеры выбросов разрушающе воздействуют на экологическую обстановку местности.

Влияние буровых и, в частности, нефтяных шламов на окружающую среду приводит к большому количеству негативных последствий [3]:

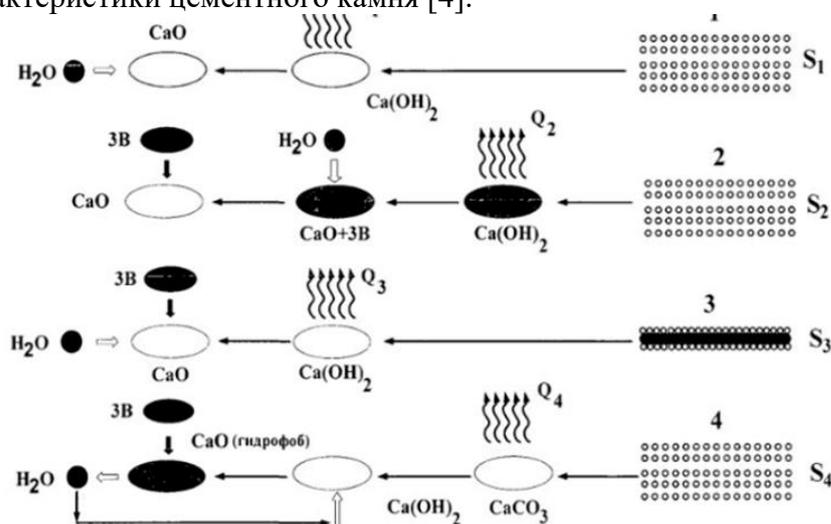
- Сокращение продолжительности жизни различных организмов, снижение репродуктивности, гибель особей;
- Исчезновение некоторых видов животных, растений, микроорганизмов;
- Изменение физических характеристик вод – рН, солености, температурного режима, светопропускного режима, загрязнение водоемов частицами тяжелых металлов;
- Загрязнение подземных вод;
- Нарушение структуры, химического состава почвы, которое ведет к снижению плодородности почв, пригодности земель для сельского хозяйства;
- В целом нарушение естественных процессов в экологических системах и др.

В настоящее время один из самых распространенных способов переработки и утилизации буровых отходов состоит в захоронении отфильтрованного шлама в

специальных могильниках. Широкая распространенность подобной системы в первую очередь определена низкой стоимостью проводимых мероприятий, но несмотря на этот фактор, назвать удовлетворительной её невозможно. Из-за недостаточной гидроизоляции котлована и разрушающего воздействия его содержимого на изоляционный материал на постоянной основе случаются утечки отходов бурения в окружающее пространство, ведущие к загрязнению почв, что влечет за собой сокращение сельскохозяйственных земель, и попадание нефтесодержащих продуктов в подземные воды

Кроме того, компании нефтегазовой промышленности используют термический метод переработки отходов (сжигание в печах и топках), который в настоящее время стал менее актуальным в связи с ужесточением мер природоохранного законодательства, так как в процессе сжигания образуются вредные выбросы, попадающие в атмосферу, далее переносимые на большие расстояния и выпадающие с осадками, и метод микробиологического обезвреживания, проведение которого зачастую не предоставляется возможным из-за неподходящих природно-климатических условий, высокая стоимость реагентов делает его экономически невыгодным.

Альтернативным решением поставленной проблемы может стать комплексный метод утилизации отходов бурения, разрабатываемый моей командой. На рисунке 1 представлено схематическое изображение метода реагентного капсулирования. Рецепт реагента капсулирования на основе оксида кальция и нефтешлама в качестве гидрофобизатора, позволяет провести эффективное обезвреживание бурового шлама с получением гидрофобизированного продукта утилизации. Предложенный метод реагентного капсулирования даёт возможность провести совместную утилизацию бурового и нефтяного шлама, а также цементной пыли, что обеспечивает высокую степень экологической безопасности. Проведенные исследования показали, что добавка капсулированного бурового шлама в количестве 5-10% масс к портландцементу увеличивает прочность при сжатии получаемой крепи на 15-35%, что позволяет использовать вяжущий материал для тампонирования обсадных колонн скважин в интервалах, на которых отсутствует водоносность и имеются специфичные горные породы, изолирующие выше- и нижезалегающие водные горизонты. Установлено, что применение капсулированного бурового шлама в качестве добавки при цементировании не оказывает негативного воздействия на экологическую среду и помогает улучшить прочностные характеристики цементного камня [4].



Схематическое изображение метода реагентного капсулирования

## **Выводы**

Таким образом, предложенный метод актуален тем, что он не только безопасен для окружающей среды, но и целесообразен с экономической точки зрения, так как в итоге мы получаем экологически чистый, прочный материал с широким спектром применения.

## **Благодарности**

Выражаю благодарность сотрудникам Российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе (МГРИ) за помощь в развитии научного проекта: проректору по международной деятельности и региональному сотрудничеству Машковой Анастасии Михайловне, доктору технических наук, профессору, заведующему кафедрой современных технологий бурения скважин Соловьеву Николаю Владимировичу, преподавателям кафедры современных технологий бурения скважин Овезову Батыру Аннамухаммедовичу и Щербаковой Ксении Олеговне, а так же студенту факультета технологии разведки и разработки Чекалову Арсению.

## **Библиография**

1. Хаустов А. П., Редина М. М., Канзафарова Р. Ф. Проблемы оценки экологической опасности нефтешламов // Экспозиция Нефть Газ. – 2011. – №6. – 55-56 с.
2. Васильев А. В., Заболотских В. В., Тупицына О. В., Штеренберг А. М. Экологический мониторинг токсического загрязнения почвы нефтепродуктами с использованием методов биотестирования // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2012. – № 4. – 242-249 с.
3. Пичугин Е. А. Оценка воздействия бурового шлама на окружающую природную среду // Молодой ученый. – 2013. – № 9. – 122-123 с.
4. Литвинова Т.А., Винникова Т.В., Косулина Т.П. Реагентный способ обезвреживания нефтешламов // Экология и промышленность России. – 2010. – №10. – 40-43 с.

***Один из способов снижения самозаклинивания керна  
Муратова М.И.\* (ТашГТУ, muratovlazizkhon@mail.ru)***

## **Аннотация**

Самозаклинивание керна не-только уменьшает производительность бурения, но также является основной причиной снижения представительности кернового опробования. Анализ данных показывает, что за последние 20-25 лет выход рудного керна практически не изменился и остается на уровне 75-77 % при твердосплавном бурении и 80-82 % при алмазном бурении.

## **Ключевые слова**

Самозаклинивания керна, геологоразведочные работы, керн, скважина, Зарафшанская ГРЭ, Даугызтауская ГРЭ.

## **Теория**

Одной из причин снижения углубки за рейс и уменьшения механической скорости бурения является самозаклинивание керна в колонковой трубе, при котором, разрушение керна снижает представительность опробования. Особую важность проблема увеличения углубки за рейс при самозаклинивании керна приобретает с постоянным увеличением глубины геологоразведочных скважин. Так, величина углубки за рейс (в результате ее ограничения развитием процесса самозаклинивания керна) в трещиноватых породах составляет 40-90 см при глубине скважин 1500 м, Зарафшанская ГРЭ, Даугызтауская ГРЭ. Средняя величина углубки за рейс по Комитету Геологии составляет 3,1м. Самозаклинивание керна не-только уменьшает производительность бурения, но также является основной причиной снижения представительности кернового опробования. В ВИТРе обобщены данные о выходе керна по рудным зонам в десятках производственно-геологических объединениях при разведке более 100 месторождений различных полезных ископаемых. Анализ этих данных показывает, что за последние 20-25 лет выход рудного керна практически не изменился и остается на уровне 75-77% при твердосплавном бурении и 80-82 % при алмазном бурении. На 40 % месторождений при бурении твердыми сплавами и на 25% при бурении алмазами выход керна не превышает 75%, т.е. на 25-40% месторождений часть скважин оказывалась с минимальным выходом керна, что требовало подтверждения кернового опробования горными выработками и в конечном итоге вело к удорожанию геологоразведочных работ (рис. 1).

В настоящее время существует большое число теоретических, экспериментальных и производственных исследований, которые посвящены изучению причин самозаклинивания керна, а также мероприятиям по их устранению. Это позволило разработать различные технические средства и технологические приемы, направленные на снижение интенсивности самозаклинивания керна. Однако механизм самозаклинивания керна и причинно-следственные связи этого явления до настоящего времени не установлены.[1]

Исследования характера истирания керна показали, что при сколах керна, пересекающих прожилки под некоторым углом, избирательное истирание происходит редко; истирание рудной и без рудной массы происходит в равной степени, Если сколы проходят по контактам прожилков с вмещающей породой или до жильной массы, то же

происходить избирательное истирание. Степень этого истирания зависит от многих факторов, рассмотренных ниже, и от величины угла между плоскостью скола (прожилка) и осью колонкового снаряда. Наиболее сильно истирается жильная масса или пустая порода при величине угла встречи, близкой к 90° при поперечном сколе (табл. 1).



*Рисунок 1. Фотодокументация керна (Месторождения Мурунтау)*

Как показывает практика разведочного бурения известны следующие процессы, разрушающие керн и снижающие его выход:

- размыв керна потоком промывочной жидкости или его избирательное размывание;
- растворение керна промывочной жидкостью;
- разрушение керна под действием поперечных вибраций колонковой трубы;
- самозаклинивание керна и его избирательное истирание.

Предлагаемый взгляд на процесса самозаклинивания керна основывается на следующих предположениях:

- самозаклинивание керна - технологическая ситуация в бурении при которой часть осевой нагрузки, передаваемой на керн, достаточна на для его разрушения;

- керн твердых (не размываемых) пород любой фракции и геометрической формы не разрушается, а незначительно истирается, если кольцевом зазоре между поверхностью керна и внутренней поверхностью колонковой трубы не происходит накопление и уплотнение мелких частиц породы (играющих роль заклиночного материала), диаметр которых соизмерим с величиной этого зазора;

- в зависимости от физико-механических свойств керна и мелкой фракции породы, выполняющей функцию заклиночного материала, требуется вполне определенное ее количество как для срыва, так и для самозаклинивания керна;

в зависимости от физико-механических свойств, трещиноватости горных пород, слагающих стенки скважины, качества бурового раствора, степени совершенства промывки, скорости СПО (спуско-подъемные операции). [2]

- геометрии непокрытой части ствола та скважины и ряда других факторов на забое скважины оседает определенное количество обломков пород разных фракций, в том числе таких, диаметр которых соизмерим с величиной зазора между поверхностью керна и внутренней поверхностью колонковой трубы, что определяет их участие в кернообразовании.

Таблица 1  
Сводная таблица отработки колонковых снарядов

Показатели	Серийный одинарный колонковый снаряд	Опытный колонковый снаряд
Объем бурения, м	284,0	352,0
Категория пород по буримости	IX-X	IX-X
Число рейсов	85	72
Средняя механическая скорость, м/ч	1,81	2,05
Проходка на коронку, м	14,2	17,6
Средняя углубка за рейс, м	3,34	4,88
Состояние поверхности керна	Неровная	Гладкая
Кусковатость, шт/м	12-18	4-0
Выход керна, %	78	92,5

В соответствии с представлениями о механизме самозаклинивания керна, как о процессе накопления и уплотнения мелкой фракции породы. Одним из способов снижения или полного предотвращения с заклинивания керна можно считать использование таких технических решений или технологических приемов, которые позволяют удалять заклиночный материал из зазора между внутренней поверхностью в колонковой трубы и поверхностью керна, не давая ему накапливаться уплотняться в количестве, достаточном для срыва и самозаклинивания керна.

Простота конструкции предложенного колонкового снаряда позволила изготовить опытные образцы для производственных исследований непосредственно в полевых условиях на месте испытаний Зарафшанской и Даугызтауской ГРЭ. В таблице

2. приведены данные сравнительных испытаний при бурении рудных интервалов, представленных слабометаморфизованными сланцами. [3]

## **Выводы**

Таким образом, отмеченные факторы характерны для отбора керна в мягких породах, в которых бурение алмазными коронками не применяется. Разрушение керна под действием поперечных вибраций предотвращается остановкой вращения керноприемной трубы, что конструктивно и предусмотрено в современных снарядах съемными керноприемниками.

Возможность удаления шлама и мелких кусочков породы из короночного кольца, а также число и диаметр отверстий для этого, необходимых при использовании предложенного колонкового снаряда, определялись экспериментально. Вынос заклиненного материала фиксировался с помощью скоростной киносъемки при бурении в блоке оптического стекла.

Основным фактором, снижающим выход керна в сложных геологических условиях при использовании ССК (снаряд со съемными керноприемниками), является его самозаклинивания и разработка средств, предотвращающих это негативное явление, позволит повысить выход керна, увеличить длину цикла, и следовательно, общую производительность колонкового бурения скважин.

## **Библиография**

1. Башкатов Д.Н. Оптимизация процесса бурения. Нижний Новгород: Росбурмаш, 2006. - 331 с.
2. Кудайкулов С.К. Бурение скважин в сложных условиях снарядами со съемными керноприемниками (ССК) - Алматы: КазНТУ, 2013. – 248 с.
3. Инесон П.Р. Нучное исследование поискового метода минералов. Нью йорк, 2015. – 375с.
4. М.Кучера, М.Бомер. Перспектива и разработка минеральных ресурсов. Лондон. Наука. 2013.-438 с.
5. Australiang Drilling. The Drilling, Fifth edition hardcover. apr. №1.2015. стр.145-147.

*Анализ современных методов предупреждения и ликвидации поглощений бурового раствора при бурении скважин*

*Мустафаев О.Б.\* (Навоийский государственный горный институт, e-mail: strong0185@mail.ru), Меркулов М.В. (Российский государственный геологоразведочный университет (РГГРУ-МГРИ), e-mail: mvm.07@mail.ru), Джуряев Р.У. (Навоийский государственный горный институт, e-mail: r.u.djuraev@yandex.ru)*

**Аннотация**

Осложнения при бурении скважин в виде поглощения бурового раствора является одним из самых актуальных, экономически затратных и трудно решаемых проблем горно-геологической отрасли. На сегодняшний день известны различные способы предупреждения и ликвидации высокоинтенсивных поглощений, однако, все они весьма трудоемки и не всегда дают положительный результат.

В статье приведены теоретические и аналитические исследования методов предупреждения и ликвидации поглощений буровых растворов при бурении скважин в осложненных горно-геологических условиях. На основе изучения большого материала освещаются наиболее эффективные методы ликвидации и предупреждения поглощения бурового раствора.

**Ключевые слова**

Поглощение, скважина, буровой раствор, очистка забоя, наполнители, гибкий контейнер, обсадка, газожидкостные смеси, ликвидация, предупреждения, каверны, трещина.

**Теория**

В мировой практике добычи полезных ископаемых нарастает тенденция увеличения объемов глубокого и сверхглубокого бурения, вызванная необходимостью обеспечения прироста запасов полезных ископаемых для поддержания существующего уровня их добычи. При этом, естественно, объемы буровых работ, выполняемые в сложных горно-геологических и технологических условиях, будут увеличиваться, что приведет к росту затрат времени и средств на бурение скважин. Так доля затрат на ликвидацию осложнений в общем балансе времени проходки скважин для некоторых регионов уже достигает в среднем 20-25% календарного времени [1].

В таких условиях одной из основных задач, первостепенной практической важности, является повышение эффективности бурения скважин в осложненных условиях. Эта задача должна решаться как за счет дальнейшего развития и совершенствования известных технологии, так и созданием на основе достижений фундаментальных наук принципиально новых технологий, в том числе и для борьбы с осложнениями в бурении.

К наиболее распространенным видам осложнений относятся осложнения, вызывающие нарушения целостности стенок скважины, поглощения бурового раствора и водопроявления. Причем, поглощение бурового раствора является одним из самых распространенных видов осложнений при бурении скважин.

На сегодняшний день имеются различные методы борьбы с поглощениями бурового раствора, эффективность каждого из которых зависит от соответствия его конкретным условиям.

Все современные методы борьбы с поглощениями бурового раствора можно разделить на две группы [2]:

профилактические мероприятия по предупреждению и ликвидации зон поглощений бурового раствора в процессе углубления скважины;

специальные методы ликвидации зон полных (катастрофических) поглощений бурового раствора, выполняемые с прерыванием процесса углубления скважины (например, закачка в зону тампонов, изоляционные работы, установка перекрывателя и др.) [3].

Также одним из эффективных методов предупреждения и борьбы с поглощением бурового раствора является снижение плотности бурового раствора.

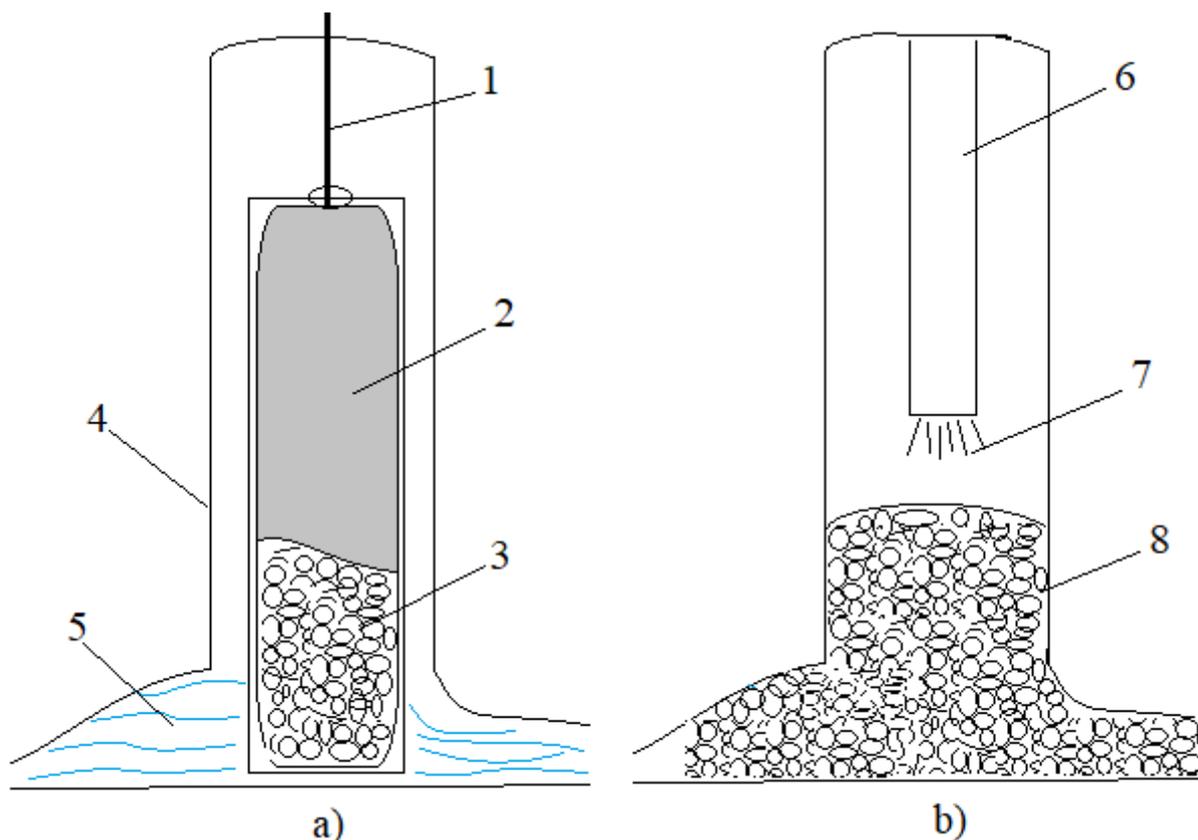
Снижение плотности бурового и тампонажного растворов способствует снижению гидростатического и гидродинамического давлений, а, следовательно, интенсивности поглощения.

Известные методы ликвидации зон полных (катастрофических) поглощений условно можно разделить на три основные группы [4]: намыв наполнителей, закачивание тампонажных смесей, установка перекрывающих труб).

Намыв наполнителей применяется при ликвидации зон полных (катастрофических) поглощений в целях снижения их интенсивности. Способ заключается в закупоривании поровых каналов и трещин материалами, доставляемыми в зону поглощения различными жидкостями-носителями, например, буровыми растворами, инвертными эмульсиями и др [5].

Как показывает практика бурения при больших размерах трещин или каверн, существующие способы предотвращения поглощения, такие как тампонаж скважины, закачка цементных растворов, вязкоупругих систем и т.п. не всегда приносят положительных результатов. При бурении без выхода промывочной жидкости разбуриваемый шлам поднимается с забоя и уходит в каналы поглощения вместе с промывочной жидкостью.

Известны перекрывающие устройства, которые спускаются в зону перекрытия поглощающих каналов вместе с тампонирующей смесью [6]. Эффективно и быстро, с минимальными затратами средств можно перекрыть зону полного поглощения с большими трещинами и кавернами с применением гибкого контейнера показанного на рисунке 1.



**Рисунок 1.** Гибкий контейнер для перекрытия больших трещин.

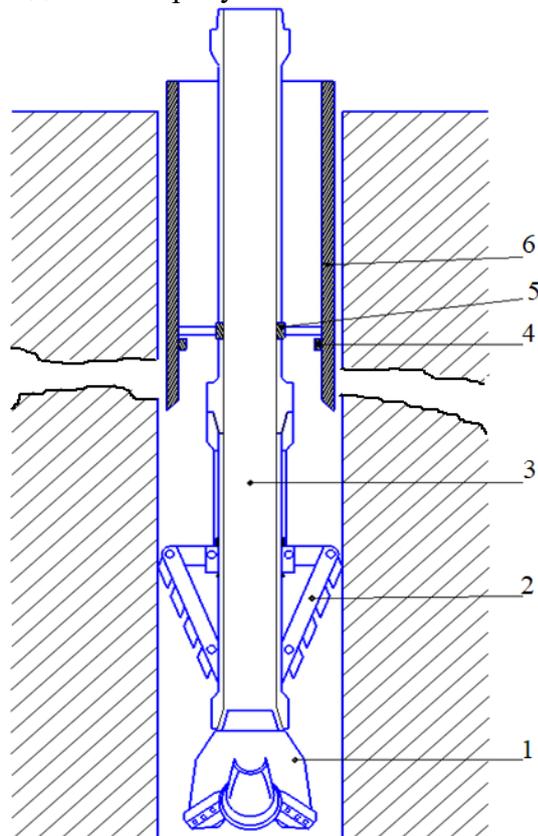
*а* – исходное положение, *б* – контейнер на забое скважины, 1 – канат, 2 – гибкий пористый контейнер, 3 – твердые тела, 4 – стенка скважины, 5 – трещины, 6 – наконечник буровой колонны, 7 – струя буровой жидкости, 8 – тампонирующая смесь.

При ликвидации поглощения буровой жидкости применением гибкого контейнера, заполненный твердыми телами контейнер спускается в скважину. Контейнер изготовлен из сетчатого материала, способного пропускать через себя тампонирующие растворы. Когда контейнер достигает поглощающего интервала и свободно ложится на забой скважины, твердые частицы под собственным весом будут заполнять неровности и трещины ствола скважины, перекрывая частично пути ухода промывочной жидкости. Затем в скважину спускают буровые трубы с наконечником, по которым закачивается соответствующий раствор, который проникает через контейнер и заполняет пространство между твердыми частицами, образуя после твердения монолитный барьер, полностью предотвращающий поглощение промывочной жидкости в скважине. При разбуривании разрушается центральная часть пробки, а трещины остаются перекрытыми цементным камнем, что позволяет в дальнейшем бурить скважину без поглощений.

Данный способ является достаточно эффективным, однако, при бурении скважин в слабосвязанных и неустойчивых породах, падение уровня промывочной жидкости в стволе скважины приводят к завалу стенок скважины, что исключает возможность проведения работ по ликвидации поглощения бурового раствора.

При присутствии риска обрушения стенок скважин, более эффективным будет бурение с одновременным обсаживанием скважины. Известные сегодня методы и технические средства для бурения с одновременной обсадкой являются достаточно дорогими и сложными в эксплуатации [7].

С целью создания более простого в эксплуатации и экономически выгодного устройства для бурения скважин с одновременной обсадкой нами предлагается следующая устройство, приведенная на рисунке 2.



**Рисунок 2.** Устройство бурового снаряда для бурения с одновременной обсадкой стенок скважин. 1-долота, 2-расширяющейся расширитель, 3-переходник, 4-ограничительное кольцо, 5-подшипник, 6-обсадная труба.

Одновременная обсадка скважины представляет собой лучшую и наиболее эффективную альтернативу другим методам, поскольку оно обеспечивает отличную прямолинейность скважины и способствует достижения желаемой глубины.

Внедрение метода бурения с одновременной обсадкой стенок скважины:

- возобновить бурение скважин на приостановленных поглощаемых горизонтах;
- применить эффективные системы разработки при бурении в сложных горно-геологических условиях;
- предотвратить аварийные ситуации;
- рассчитать и определить оптимальные размеры и мощность поглощаемого горизонта.

## Выводы

Анализ методов предупреждения и ликвидации поглощения бурового раствора показывает, что одним из эффективных способов ликвидации поглощений в

определенных условиях является закупорка поглощающих каналов с помощью наполнителей.

На сегодняшний день известны более пятиста видов закупоривающих и других материалов, однако их применение ограничено в связи с высокой стоимостью. Таким образом, возникает необходимость разработки новых видов изоляционных и тампонажных смесей из местного сырья, обладающими дополнительными сопротивлениями при движении в пористой среде, вязкостью и не высокой стоимостью, а также специальных технических средств, позволяющих ликвидировать катастрофические поглощения не дорого, с минимальными затратами времени и без приостановки процесса углубления.

### **Библиография**

1. Крылов В.И. Изоляция поглощающих пластов в глубоких скважинах. - М. : Недра, 1980. - 304 с.
2. Джураев Р.У., Меркулов М. В., Косьянов В. А., Лимитовский А. М. Повышение эффективности породоразрушающего инструмента при бурении скважин с продувкой воздухом на основе использования вихревой трубы. // Горный журнал. – Изд. «Руда и металлы». – Москва, 2020. – №12. С. 71-73. DOI: 10.17580/gzh.2020.12.16
3. Джураев Р.У., Меркулов М.В. Нормализация температурного режима скважин при бурении с продувкой воздухом.// -Навоий, «А. Навоий», 2016.
4. Джураев Р.У., Меркулов М.В. Результаты экспериментальных исследований вихревой трубки применительно к бурению геологоразведочных скважин. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – Изд. МГГУ. Москва, 2015 г. – №4, –С. 349-352.
5. Rehm B, Schubert J, Haghshenas A, Paknejad A.S, Hughes J. Managed pressure drilling. Houston (TX) // Gulf Publishing Company, – 2008.
6. Sanders M.W, Scorsone J.T, Friedheim J.E. High-fluid-loss, high-strength lostcirculation treatments // SPE paper 135472 presented at the SPE deepwater drilling and completions conference held in Galveston, –Texas, USA; 5 - 6 October 2010.
7. Merkulov M.V., Djuraev R.U., Leontyeva O.B., Makarova G.Y., Tarasova Y.B. Simulition of thermal power on bottomhole on the bases of experimental studies of drilling tool operation // International Journal of Emerging Trends in Engineering Research. Volume 8, No.8, 2020. – pp. 4383-4389.

***Методика прогнозирования параметров естественного искривления наклонных интервалов скважин***

***Назаров А.П.\* (МГРИ, alexpnazarov@yandex.ru)***

**Аннотация**

Современные методы разведки и разработки месторождений полезных ископаемых предполагают сооружение наклонно направленным скважин. Типовые профили наклонно направленных скважин включают наклонные участки, затраты на бурение которых составляют значительную долю стоимости сооружения всей скважины. В том случае, если проектом предусмотрена прямолинейность этих участков, то для предотвращения их самопроизвольного искривления необходимо применение дорогостоящих технических средств, вплоть до применения двигателей-отклонителей или роторных управляемых систем.

Предлагаемая методика позволяет снизить затраты на строительство наклонно направленных скважин за счет прогнозирования влияния основных технологических параметров на процесс естественного искривления наклонных интервалов скважин при использовании стандартных компоновок низа бурильной колонны. Выявленные закономерности позволяют построить вероятной профиль ствола скважины, определить для конкретной компоновки «равновесный угол», при достижении которого стабилизируется направление скважины. Анализ влияния отдельных технологических параметров может быть использован для подбора их оптимального сочетания.

**Ключевые слова**

искривление скважин, деформация компоновок, технологические параметры

**Теория**

Современные методы разведки и разработки месторождений полезных ископаемых предполагают сооружение наклонно направленным скважин. Наклонно направленное бурение позволяет сократить объем основных операций (многозабойное бурение) и вспомогательных операций (бурение кустовых скважин), повысить эффективность буровых работ за счет пересечения пластов полезных ископаемых под заданным углом [1, 2]. Типовые профили наклонно направленных скважин включают наклонные участки, затраты на бурение которых составляют значительную долю стоимости сооружения скважины.

При механическом способе бурения всегда присутствует естественное (самопроизвольное) искривление ствола скважины. В том случае, если проектом предусмотрена прямолинейность этих участков, то для их проведения по проектной трассе необходимо применение специальных стабилизирующих компоновок низа бурильной колонны (КНБК), вплоть до применения для коррекции направления скважины двигателей-отклонителей или роторных управляемых систем. Применение специальных компоновок приводит к удорожанию скважин, повышению гидравлических сопротивлений в месте установки центраторов.

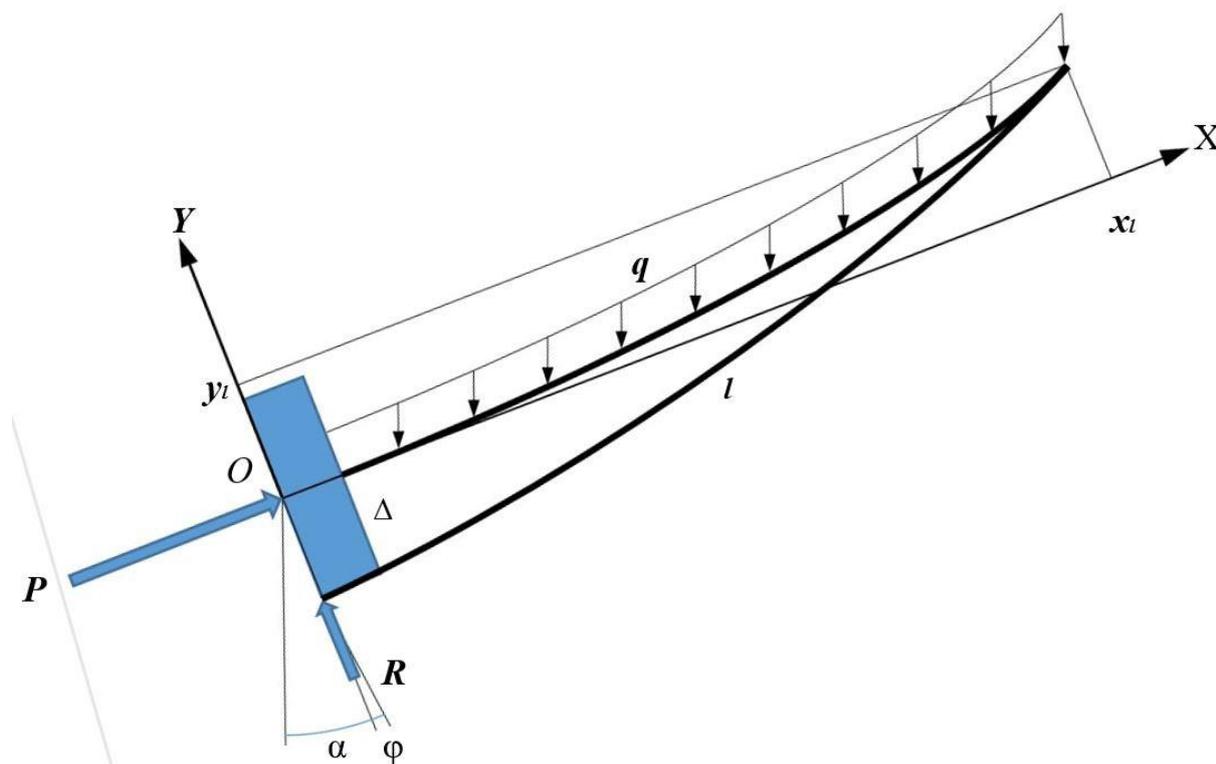
Прогнозирование закономерностей естественного искривления наклонных интервалов скважин на этапе проектирования позволит упростить проектную

конструкцию скважины, избежать затрат на применение дорогостоящих стабилизирующих компоновок [2].

Факторы, которые приводят к самопроизвольному (естественному) искривлению скважин, условно можно разделить на: геологические, организационно-технические и технологические. К геологическим причинам самопроизвольного искривления можно отнести: бурение пород анизотропных, перемежающей твердости, слоистых, сланцеватых и с ориентированной трещиноватостью (кливаж). Для выявления закономерностей естественного искривления, вызванных геологическими причинами, необходима статистическая обработка фактических профилей скважин, пробуренных на данном участке буровых работ. При низком коэффициенте корреляции выявить достоверные закономерности самопроизвольного искривления скважин бывает затруднительно. Организационно-технические (человеческий фактор) [1] прогнозировать невозможно.

В предлагаемой методике исследовано влияние основных технологических параметров на процесс естественного искривления наклонных интервалов скважин при использовании стандартной компоновки низа бурильной колонны, состоящей из породоразрушающего инструмента (ПРИ), калибратора и утяжеленных бурильных труб. К основным технологическим параметрам отнесены: осевая нагрузка на забой; диаметр ПРИ и его фрезерующая способность; диаметр, вес 1 метра и жесткость бурильных труб КНБК; зенитный угол и интенсивность искривления ствола скважины; направление вращения ПРИ.

Процесс искривления скважин определяется характером движения участка компоновки низа бурильной колонны от торца ПРИ до первой точки касания со стенкой скважины (далее – направляющий участок компоновки). Деформацию колонны бурильных труб на участках скважины с зенитным углом более 16 градусов с достаточной для инженерных расчетов точностью можно представить, как плоский изгиб балки под действием продольных и поперечных сил [3]. Расчетная схема деформации направляющего участка под действием этих сил приведена на рисунке 1.



**Рисунок 1.** Расчетная схема деформации направляющего участка компоновки в апсидальной плоскости

Деформация направляющего участка компоновки длиной  $l$ , находящейся в стволе скважины с зенитным углом  $\alpha$  происходит под действием следующих сил:

$P$  – реакции забоя на торец ПРИ, Н;

$R$  – реакции стенки скважины на боковую поверхность ПРИ, Н;

$q$  – рассредоточенной нагрузки веса бурильных труб, Н/м.

В результате деформации ось ПРИ отклоняется от оси скважины на угол  $\varphi$ , а компоновка на расстоянии  $l$  касается стенки скважины. В месте контакта ось бурильных труб параллельна оси скважины, а величины их кривизны равны. Поместив начало координат в центр породоразрушающего инструмента, направив ось  $X$  по его оси, а ось  $Y$  перпендикулярно оси  $X$  вверх, составим дифференциальное уравнение изогнутой оси бурильных труб [3] для следующих граничных условий:

$$x = 0; y_0 = 0; y_0' = 0; y_0'' = 0 \quad (1)$$

$$x = l; y_l = Kl^2/2 + \varphi l - \Delta; y_l' = Kl + \varphi; y_l'' = K \quad (2)$$

где  $K = 57,3 I_\alpha$  – кривизна оси скважины, 1/м;  $I_\alpha$  – интенсивность зенитного искривления, градус/м;  $\Delta = (D - d)/2$  – смещение стенки скважины относительно оси долота, м;  $D$  – диаметр долота, м;  $d$  – диаметр бурильных труб, м.

$$M_{x=l} = EI y_l'' = R x_l - P y_l - q \frac{x_l}{2} = K \quad (3)$$

Дважды проинтегрировав данное уравнение для граничных условий получим:

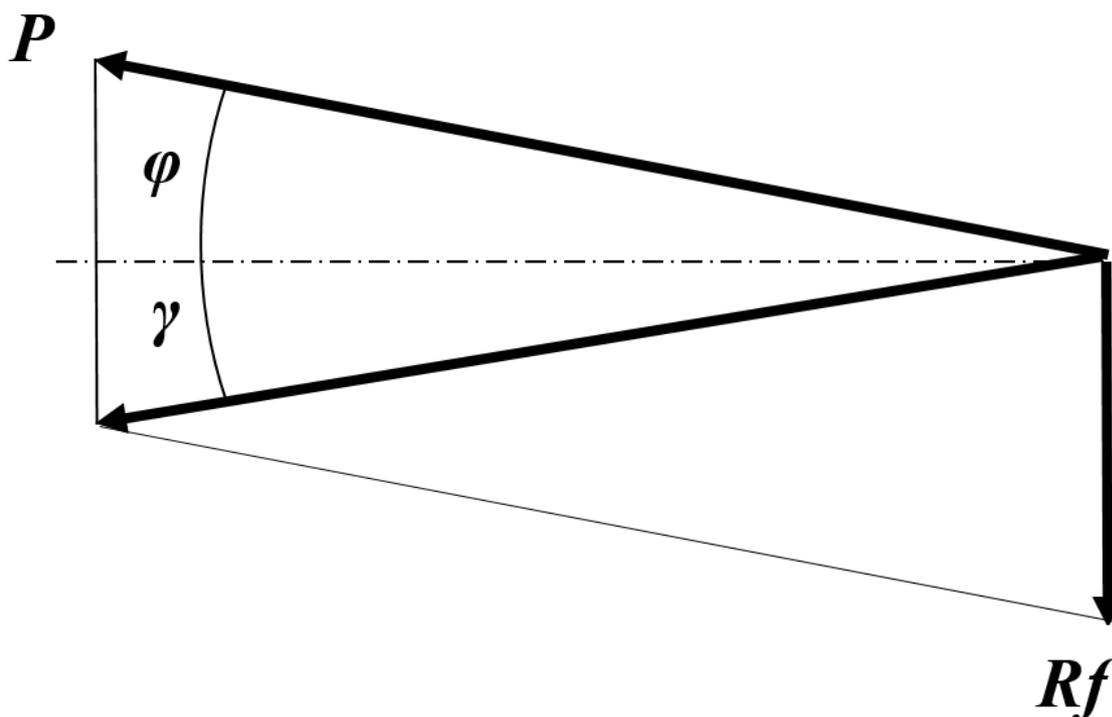
$$EI y_l' = R \frac{x_l^2}{2} - P x_l y_l - q \frac{x_l^3}{6} = K x_l + \varphi \quad (4)$$

$$EIy_l = R \frac{x_l^3}{6} - P \frac{x_l^2}{2} y_l - q \frac{x_l^4}{24} = K \frac{x_l^2}{2} + \varphi x_l - \Delta \quad (5)$$

Решая систему трех уравнений 3, 4 и 5 относительно трех неизвестных:  $x_l$ ,  $R$  и  $\varphi$ , можно определить направление движения центра породоразрушающего инструмента. Искривление ствола скважины происходит в результате действия двух процессов:

- асимметричного разрушения забоя за счет отклонения оси породоразрушающего инструмента от оси скважины на величину угла  $\varphi$ ;
- фрезерования стенки скважины боковой поверхностью породоразрушающего инструмента с силой равной реакции боковой стенки  $R$ .

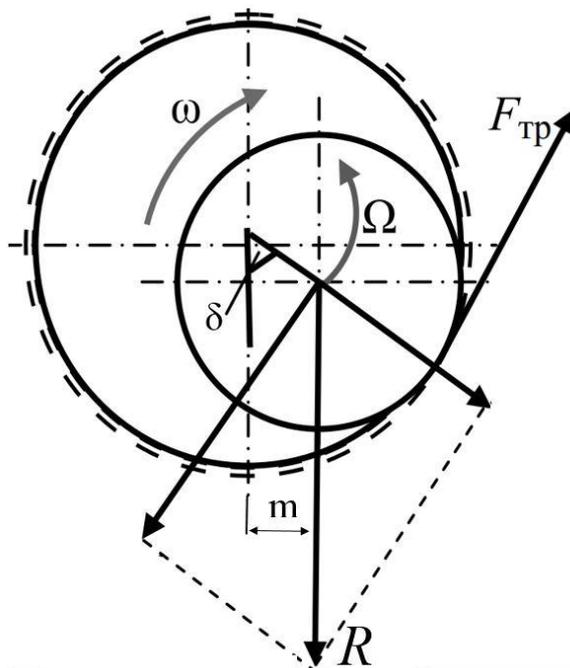
Схема векторов скоростей движения центра породоразрушающего инструмента приведена на рисунке 2. Для малых значений угла  $\varphi$  можно использовать свойства первого предела:  $\sin \varphi = \varphi$  (радиан). Величины сил откладываются в одном масштабе.



**Рисунок 2.** Схема векторов скоростей центра породоразрушающего инструмента

Расчетная схема построена из предпосылки, что скорость бурения пропорциональна осевой нагрузке на забой, а скорость разрушения стенки скважины боковой поверхностью долота пропорциональна также его фрезерующей способности  $f$ . Отношение перемещения ПРИ к длине компоновки – интенсивность искривления.

Вращающийся ПРИ, прижатый с силой  $R$  к лежащей стенке скважины, за счет силы трения накатывается на правую стенку. Отклонение оси ПРИ от оси скважины показано на рисунке 3. Опыт бурения наклонных скважин подтверждает выявленные зависимости. Наклонные скважины, как правило, отклоняются в сторону снижения величины зенитного угла и увеличения азимута.



**Рисунок 3.** Расчетная схема отклонения ПРИ в нормальной плоскости

Смещение центра ПРИ ориентировочно можно оценить по формуле:

$$m = \frac{D}{2} K_{тр} \quad (6)$$

где  $K_{тр}$  – коэффициент трения боковой поверхности ПРИ о стенку скважины, Н.

## Выводы

Предложенная расчетная схема деформации направляющего участка компоновки отличается от ранее предложенной [4] тем, что в ней учитывается кривизна оси ствола скважины. Благодаря этому, проинтегрировав полученные зависимости, можно построить прогнозируемый профиль скважины с учетом изменяющейся в процессе бурения величины зенитного угла и кривизны скважины. Предложенная методика позволяет прогнозировать интенсивность и характер искривления наклонных интервалов скважин, что позволяет использовать выявленные закономерности при проектировании и проведении скважин по проектной трассе.

## Библиография

1. Нескоромных В.В. Направленное бурение и основы кернометрии: Учебник. — М.: ИНФРА-М; 2015. — 336 с.;
- Повалихин А.С., Калинин А.Г., Бастриков С.Н., Солодкий К.М. Бурение наклонных, горизонтальных и многозабойных скважин. – М: ЦентрЛитНефтеГаз, 2011. – 647 с.;
- Степин П.А. Сопротивление материалов: Учебник – СПб.: ООО «Издательство Лань», 2012. – 320 с.;
- Судоплатова А.А., Сапожков А.А., Назаров А.П. Повышение качества бурения разведочных скважин на старых и новых рудничных полях. Материалы IX Международной научной конференции молодых ученых «Молодые - Наукам о Земле» – М.: МГРИ, 2020. – Том.IV. – С. 171-174.

**«ПанакСис» - программное обеспечение для обеспечения безопасности морских буровых платформ в Арктике.**

**Нестеренко С.Ю.\* (МГРИ, Nesterenko-SY@yandex.ru)**

### **Аннотация**

Предлагаемый проект является решением актуальной проблемы навигации в Арктике. Он предусматривает создание и коммерциализацию программного обеспечения, которое будет объединять существующие в данный момент разрозненные системы по управлению ледовой обстановкой. В их число входят системы спутникового мониторинга, авиамониторинга (в том числе и с помощью БПЛА) и натурных наблюдений. Перед нами стоит задача создания такой системы, которая на основе разработанных алгоритмов могла бы предсказывать ледовые условия в определенной области. Введение данной разработки позволит существенно снизить трудоемкость анализа ледовой обстановки на основе различных источников, а так же уменьшит финансовые затраты за счет выбора оптимального маршрута транспортировки углеводородов танкерами, исключения необходимости проведения дополнительных защитных мероприятий или предскажет возможность создания аварийной ситуации с объектами инфраструктуры.

### **Ключевые слова**

Мониторинг ледовой обстановки, УЛО, СМП, Арктика, айсберги, шельф, буровая платформа.

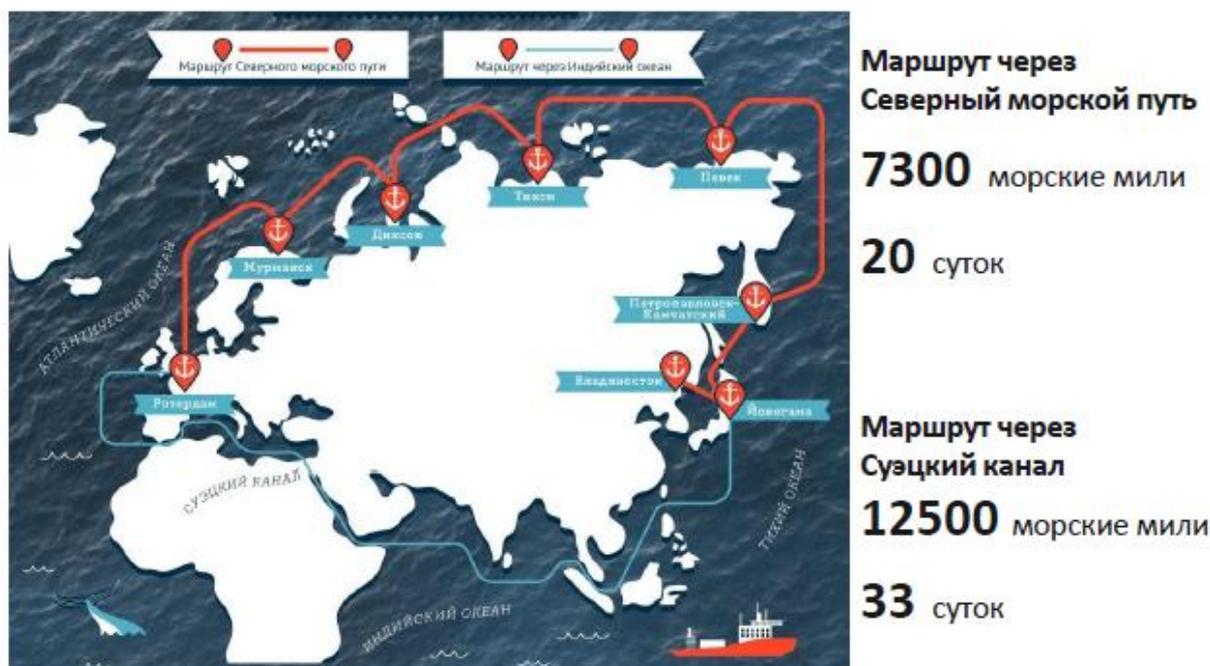
### **Теория**

При разработке нефтегазовых месторождений и транспортировке углеводородов на акватории арктического шельфа ледяной покров оказывает силовое воздействие на морские сооружения и суда, что заставляет усложнять их конструкции либо предусматривать отдельные меры борьбы с ледовым воздействием. Риск воздействий льда на объекты обустройства морских месторождений нефти и газа в Арктическом регионе предопределяет наличие проблемы обеспечения устойчивости функционирования указанных объектов в условиях айсберговой угрозы и ледовых образований. Снижение указанных рисков предусматривает разработку организационных и технических мер увеличения гарантии функционирования объектов в условиях айсберговой угрозы на основе использования международного опыта и разработки инновационных технологий предупреждения опасных воздействий ледовых образований [2]. В связи с тем, что Правительством РФ утвержден Комплексный проект развития Северного морского пути к 2030г., и 30 декабря 2019г. опубликован утвержденный Председателем Правительства России Дмитрием Медведевым план развития инфраструктуры Северного морского пути (СМП) на период до 2035 года, в котором запланировано Правительством РФ в декабре 2021г. рассмотреть готовые решения мероприятий по созданию и внедрению единой платформы цифровых сервисов и внедрения цифровых технологий для развития мультимодальных перевозок в акватории Северного морского пути, включая строительство морских логистических центров.

В связи с этим становятся актуальными нерешенные ранее задачи:

- Отсутствие целостной системы навигации, которая могла бы учитывать данные из разных источников.
- Оперативность прогнозирования маршрута для судов.
- Оценка возможного воздействия ледовых образований на инфраструктуру на шельфе.
- Уменьшение вероятности возникновения ошибок 1-го и 2-го рода при прогнозировании дрейфа ледовых образований.
- Разработка целостной системы ледового менеджмента.

В решении данных проблем заинтересовано большое количество компаний: компании, обслуживающие инфраструктуру Северного морского пути, нефтегазопромысловые компании, компании – перевозчики нефти и СПГ, владельцы инфраструктуры по транспортировке углеводородов, компании-судовладельцы, занимающиеся логистикой по СМП, порты, инженерные и геологоразведочные компании. На рисунке 1 представлена схема выгоды использования СМП для транзитных перевозок.



**Рисунок 1.** Выгоды использования СМП для транзитных перевозок.

В первую очередь комплекс решающий указанные проблемы должен основываться на моделях переноса и дрейфа плавающих объектов в Печорском, Баренцевом и Карском морях. Во-вторых, в них будут интегрироваться данные со спутниковых снимков, которые можно получить из открытых источников и на коммерческой основе. Третий обязательный параметр – метеорологические данные о ветре и температуре. Затем данные автоматической идентификации судов (АИС), данные телеметрии с прикрепленных к ледовым образованиям радиобуев и морфологические характеристики льда, которые определены по радиолокационным

снимкам и снимкам с БПЛА. Технологию использования БПЛА для определения характеристик льда успешно разработал Центр морских исследований МГУ. При интеграции перечисленных данных в одну систему будет достигнут наиболее точный из существующих на данный момент прогнозов об оценке и вероятности воздействия ледовых образований на морскую инфраструктуру и суда.

## **Выводы**

На сегодняшний день технологии и объемы накопленных данных позволяют начать обучение нейронных сетей для задачи автоматического определения характеристик морского покрова. Искусственный интеллект позволит повысить скорость и детальность обработки данных. Поэтому считаем его применение обоснованным и необходимым при разработке программного обеспечения.

## **Библиография**

1. Бушуев А.В., Волков Н.А., Гудкович З.М., Новиков Ю.Р. и др. Автоматизированная ледово-информационная система для Арктики (АЛИСА) // Тр. ААНИИ. 1977. Т.343. С. 6 - 16.
2. Кукуи Ф. Д., Кулезнев И. А. Об общих принципах обеспечения безопасной эксплуатации морских объектов нефтегазового комплекса Российской Федерации в ледовых условиях // Вестник МГТУ. 2016. Т. 19, № 4. С. 780-789.
3. Марченко А.В., Дианский Н.А., Онищенко Д.А., Чумаков М.М., Никитин М.А., Фомин В.В., Марченко Н.А. Исследование дрейфа льда и эволюции консолидированного слоя торосов в северо-западном регионе Баренцева моря // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации, 2016, № 361, с. 231-260.
4. Смирнов В. Г. под редакцией. Спутниковые методы определения характеристик ледяного покрова морей. С.-П.: ААНИИ. 2011. 240 с.

*Исследование влияния магнитных возмущений в процессе бурения наклонно-направленных скважин (iMAG)*

*Овезов Б.А.\* (МГРИ, [ovezovba@mgri.ru](mailto:ovezovba@mgri.ru)), Соловьев Н.В. (МГРИ, [solovyevnv@mgri.ru](mailto:solovyevnv@mgri.ru))*

## **Аннотация**

Зачастую наклонно-направленное бурение сталкивается с проблемой геонавигации в процессе бурения при искривлении ствола скважины из-за магнитных возмущений, таких как суточные вариации магнитного поля, квартальные вариации и магнитные бури.

Данная проблема весьма актуальна при кустовом и многозабойном бурении. При применении геонавигации и в процессе искривления скважины на траекторию бурения влияют два главных фактора: геомагнитные возмущения и магнитное поле самого бурового инструмента.

Магнитные возмущения создают большую погрешность во время замеров и повышают риски бурения в неверной траектории. Цена ошибки весьма высока и имеет ряд рисков, таких как: бурение в неправильном направлении, пробуривание ствола соседних скважин, (действующих и консервированных) и не попадание в цель продуктивного пласта. Это влечет за собой финансовые и временные потери, а также повышает риск возникновения опасной ситуации на месторождении для персонала и окружающей среды.

Решение данной проблемы обусловлено актуальностью исследования влияния магнитных возмущений на процесс бурения и искривления ствола скважины, а также необходимостью определения алгоритмов для коррекции траектории бурения.

## **Ключевые слова**

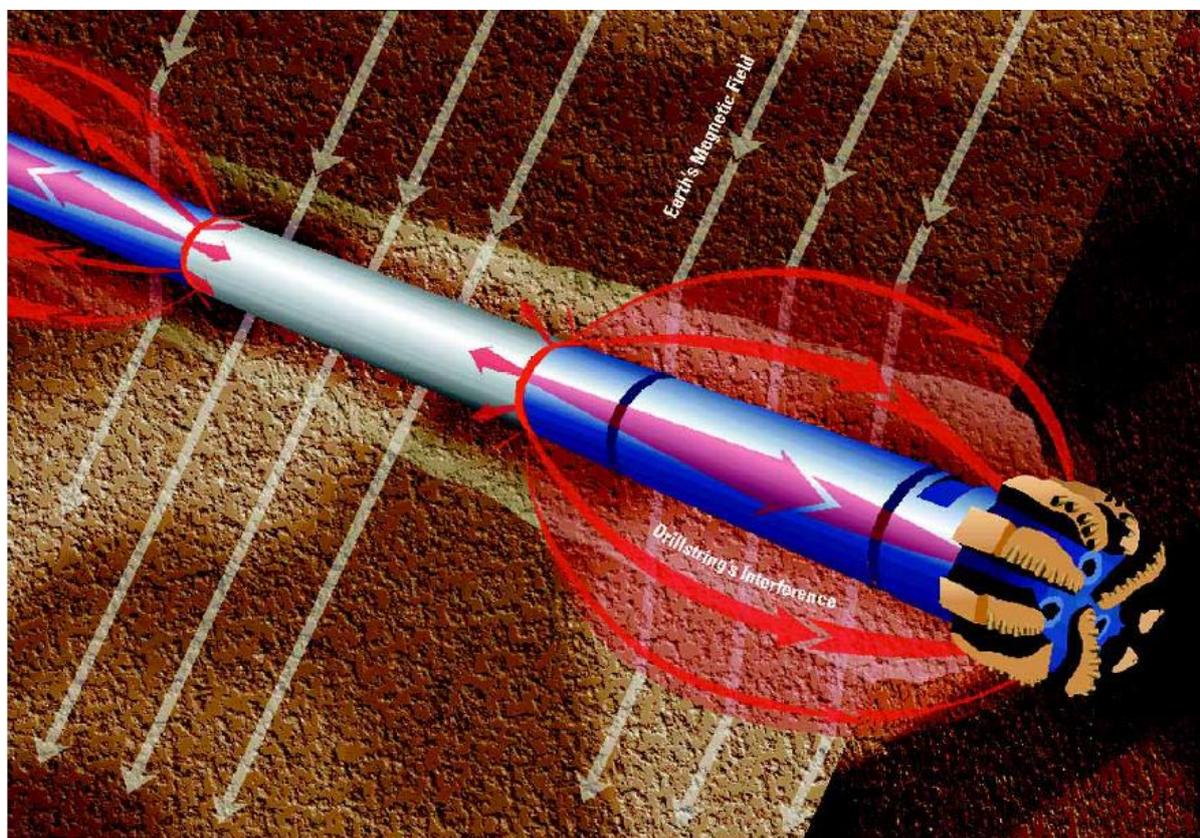
Наклонно-направленное бурение, магнитные возмущения, геонавигация

На сегодняшний день в крупных международных нефтегазовых сервисных компаниях проблема геонавигации решается за счет коррекции значений магнитных возмущений путем применения специализированного программного обеспечения. Данное программное обеспечение несовершенно ввиду его зависимости от подгрузки магнитных данных у магнитных обсерваторий. Минусами является ограниченное количество обсерваторий на новых месторождениях и вблизи высоких широт, а также отсутствие отечественного программного обеспечения и алгоритмов по фильтрации магнитных возмущений для решения поставленных задач по достижению стратегий научно-технологического развития Российской Федерации [1].

Более того, актуальная задача Российской Федерации по освоению Арктической зоны на сегодняшний день является весьма важной, а для добычи углеводородов на шельфе Арктики не имеет собственной отечественной магнитной обсерватории, что усложняет поставленную задачу из-за зависимости от обсерваторий иных государств, а также неточности данных из-за отдаленности более 100 км.

При применении геонавигации в процессе искривления скважины на траекторию бурения влияют геомагнитные возмущения и магнитное поле самого бурового инструмента (рисунки 1).

Возможно проведение оценки влияния спорадических возмущений магнитного поля во время магнитной бури, на отклонения параметров траектории бурения наклонно-направленных скважин. Эти отклонения, если их не отфильтровывать с помощью параллельных измерений на геомагнитной обсерватории, могут приводить к недопустимо большим погрешностям скважинных инклинометрических измерений, с помощью которых осуществляется подземная навигация [2].



**Рисунок 1.** Влияние геомагнитных возмущений и магнитного поля самого бурового инструмента на траекторию бурения наклонно-направленных скважин

В верхних слоях Земли различные геологические объекты являются источниками аномального магнитного поля. Магнитные аномалии стабильны во времени, но их географическое распределение и пространственные масштабы очень неоднородны. Величина магнитных аномалий изменяется в широких пределах от единиц до нескольких тысяч нТл. Для построения локальных карт аномалий проводятся аэромагнитные и другие локальные съемки местности.

Земной диполь находится под постоянным воздействием исходящего от Солнца сверхзвукового потока заряженных частиц, в основном протонов, формирующих солнечный ветер. С плазмой солнечного ветра переносится межпланетное магнитное поле, величина которого составляет в среднем несколько единиц нТл, но при эруптивных событиях на Солнце межпланетное магнитное поле может возрастать до нескольких десятков нТл.

Как показано на рисунке 1, достижение потока солнечного ветра Земли приводит к тому, что на стороне, обращенной к Солнцу, силовые линии земного диполя сжимаются, а на ночной стороне вытягиваются, образуя магнитосферу, границы которой приблизительно определяются равенством магнитного давления солнечного ветра и

давления геомагнитного поля. Пограничные области магнитосферы Земли заполняются энергичной плазмой, которая проникает в верхние слои атмосферы высокоширотных областей, вызывая появление полярных сияний. Вследствие движений плазмы в магнитном поле в ионосферно-магнитосферной системе возникают электрические поля и токи [3].

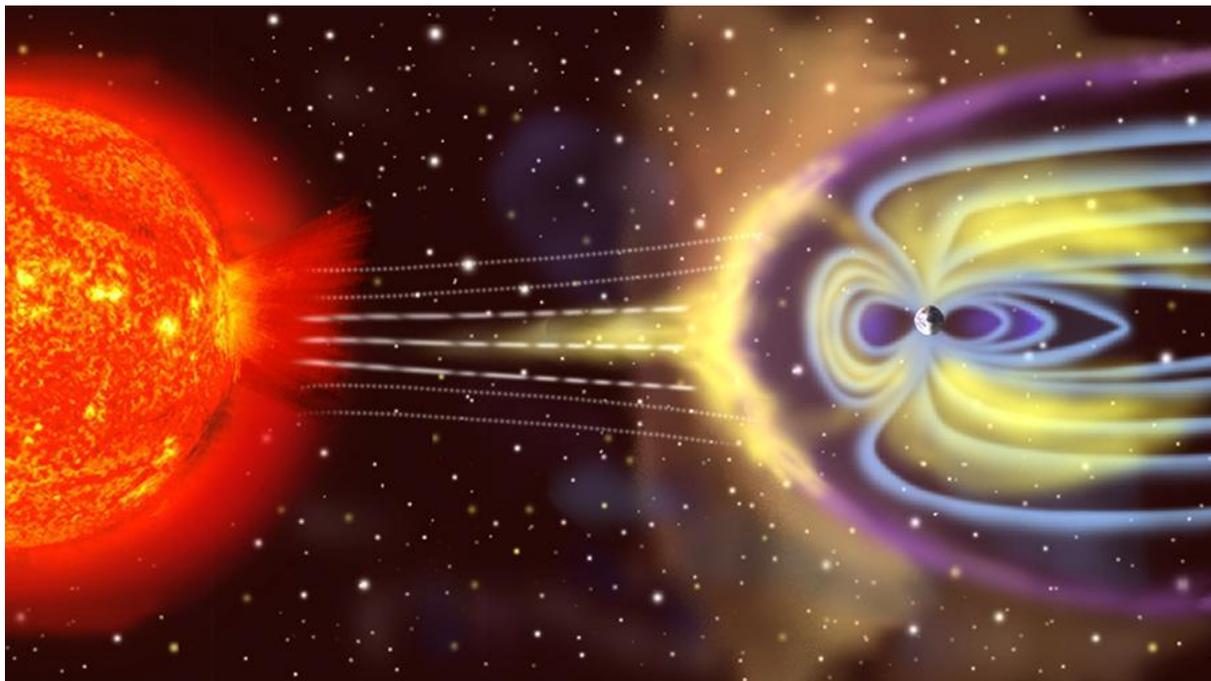
Во время магнитных бурь и других магнитосферных возмущений, вызванных солнечной активностью, в ионосфере Земли развиваются электроджеты, локализованные в виде токовых струй, текущих вдоль широтных кругов  $65-75^\circ$  как в северном, так и в южном полушариях. Во время бурь в экваториальной плоскости на расстоянии нескольких земных радиусов в магнитосфере появляется кольцевой ток, обусловленный инъекцией плазмы из хвоста магнитосферы. Электрические токи, текущие в околоземном пространстве, создают внешнее магнитное поле Земли.

## **Выводы**

Магнитный эффект околоземных электрических токов наблюдается на Земле в виде регулярных вариаций (суточных, сезонных) и спорадических флуктуаций на временных масштабах от секундных до многочасовых отклонений от спокойного уровня. В высокоширотных областях спорадические возмущения внешнего магнитного поля у поверхности Земли определяются главным образом ионосферными электроджетами, текущими вдоль широтных кругов в авроральной зоне. Соответственно, здесь магнитометры наблюдают наиболее интенсивные отклонения в горизонтальной компоненте геомагнитного поля. Кроме того, быстро меняющееся внешнее магнитное поле возбуждает в поверхностных слоях Земли, обладающих собственной электрической проводимостью, теллурические токи. Магнитное поле этих токов также вносит дополнительную погрешность в определение направления на истинный север по магнитной стрелке.

Частота и интенсивность магнитных бурь зависит от фазы 11-летнего солнечного цикла. В период солнечного минимума бури происходят довольно редко, но в годы активного Солнца геомагнитные возмущения – весьма частое явление. Так, в 2021 году Солнце вступило в активную фазу 11-летнего цикла солнечной активности, что привело к учащению возникновения магнитных бурь категории G3, ощутимых для электроприборов, спутникового оборудования и в том числе – навигации, используемом в наклонно-направленном бурении скважин.

Как, например, на днях 1 марта 2021 г. на Земле прошла ощутимая магнитная буря среднего уровня G2. Об этом сообщается на сайте Лаборатории рентгеновской астрономии Солнца Физического института Российской академии наук. Хотя ее вероятность составляла 10%, тем не менее магнитные возмущения, вызванные солнечной активностью, достигли Земли [4].



*Рисунок 2. Достижение потока солнечного ветра Земли. Поток ионизированных частиц, истекающий из солнечной короны со скоростью 300—1200 км/с в окружающее космическое пространство. Является одним из основных компонентов межпланетной среды. Солнечный ветер вызывает магнитные бури.*

Ввиду негативного влияния магнитных возмущений на геонавигационные приборы требуется последовательное изучение магнитного влияния, особенно в текущий 11-летний цикл солнечной активности, для создания лучших практик по выявлению закономерностей солнечной активности и по предупреждению ее влияния на геонавигацию, в том числе, применяемую в наклонно-направленном бурении скважин.

### Библиография

1. Указ Президента Российской Федерации от 01.12.2016 г. № 642 О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации.
2. Buchanan A., Finn C., Love J., Worthington W., Lawson F., et al. Geomagnetic Referencing – The Real-Time Compass for Directional Drilling // Oilfield Review Autumn 2013: 25. № Schlumberger. P. 32–47.
3. Korte M., Muscheler R. Centennial to millennial geomagnetic field variations // Journal of Space Weather and Space Climate. 2012. Vol. 2. Article Number UNSP A08. DOI: 10.1051/swsc/2012006
4. <https://www.rbc.ru/rbcfreenews/603cb57a9a79475afdba26ce>

**Цементирование эксплуатационной наклонно-направленной скважины при высокой температуре**

**Орленкова Е.В. (МГРИ, [evaorlenkova@yandex.ru](mailto:evaorlenkova@yandex.ru)) Щербакова К.О. (МГРИ, [sherbakovak@mgri.ru](mailto:sherbakovak@mgri.ru))**

**Аннотация**

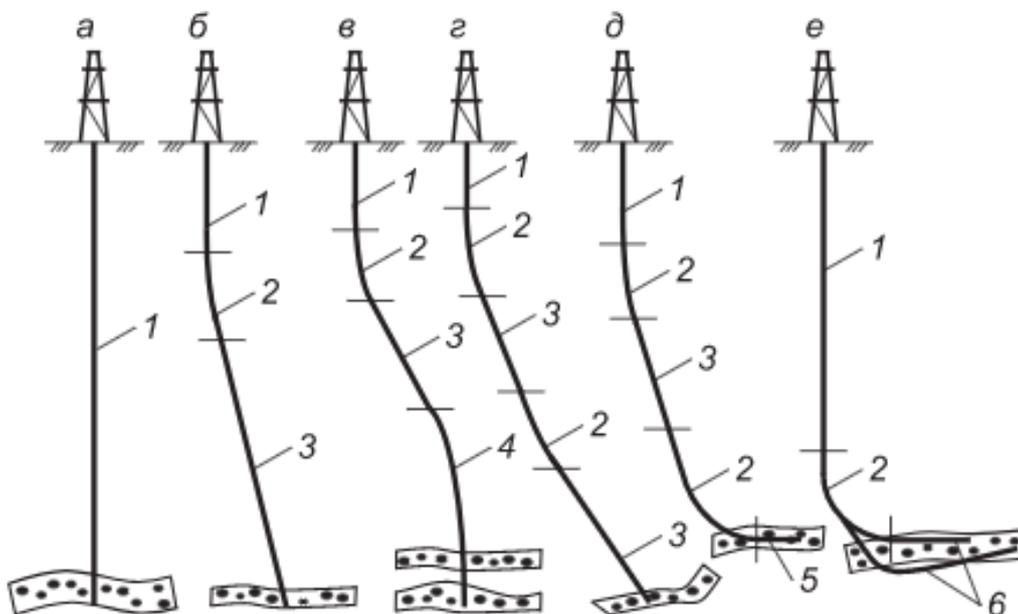
В настоящее время все больше работ, связанных с разведкой и добычей нефти и газа, приходится проводить при высоких температурах. Для решения этих проблем инженеры изучают подробно состав тампонажного раствора.

**Ключевые слова**

Наклонно-направленная скважина, цементирование, рецептура цементной части, термостойкость.

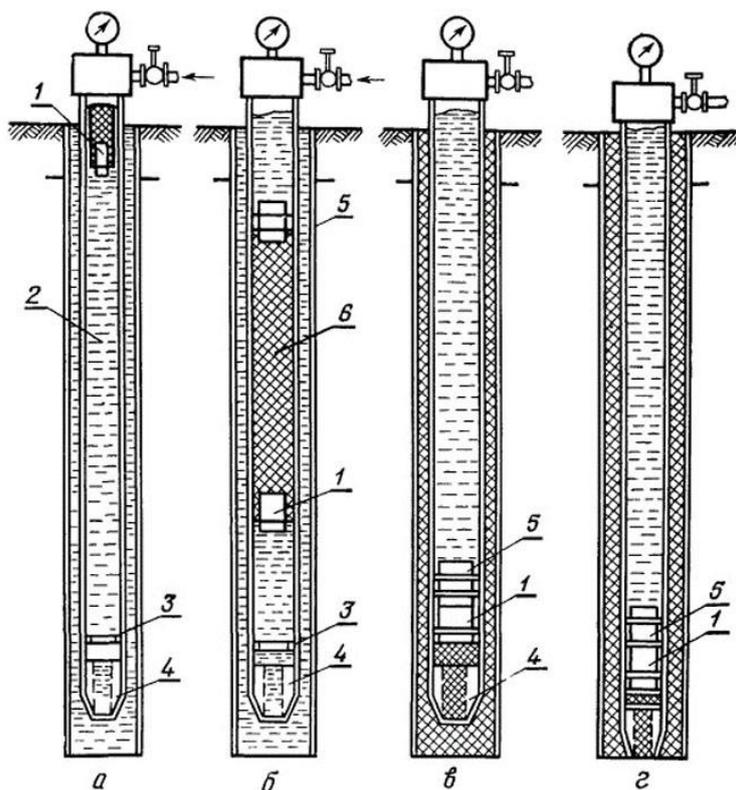
**Теория**

Скважины, для которых проектом предусматривается определенное отклонения забоя от вертикали, а ствол проводится по заранее заданной траектории, называются наклонно-направленными. [1] На рисунке 1 представлены типы профилей наклонно-направленных скважин. Профиль скважины – это проекция оси скважины на вертикальную плоскость, проходящую через ее устье и забой.



**Рисунок 1.** Типы профилей наклонно-направленных скважин. а-вертикальный; б - трехинтервальный; в - четырехинтервальный; г - пологий; д - наклонный с горизонтальным окончанием; е - вертикальный с горизонтально-разветвленным окончанием; 1- вертикальный участок; 2- участок увеличения зенитного угла; 3- прямолинейный наклонный участок; 4- участок уменьшения зенитного угла; 5- горизонтальный участок; 6 – горизонтально-разветвлённый участок

Нефтяные скважины после бурения закрепляют опускаемыми в них колоннами стальных труб (обсадной колонной). На рисунке 2 показана схема цементирования с двумя пробками. Наружный диаметр труб на несколько сантиметров меньше диаметра скважины и между колонной и стенкой скважины остается пространство, которое должно в дальнейшем быть заполнено цементным раствором. После схватывания цемента образуются стенки скважины. В ряде случаев бывают ситуации, которые ведут к остановке работы. Обычно, этому способствует неправильное транспортирование цемента, плохая проверка цементного раствора в лаборатории, цемент не успел затвердеть и т.д.



**Рисунок 2.** Схема цементирования с двумя пробками. а- скважина заполнена промывочной жидкостью 2, в колонну введена нижняя пробка 1, начинается закачка цементного раствора в колонну, б – после закачки требуемого объема цементного раствора б устанавливается верхняя пробка 5, цементный раствор продавливается до стоп кольца 3, в – цементный раствор выдавлен в затрубное пространство, г – обсадные трубы 4 опущены на забой

Цементирование высокотемпературных скважин - важный этап в строительстве скважины. В процессе цементирования, тампонажные растворы нужно выбирать очень правильно и тщательно. Каждый специальные добавки, входящие в состав цементующих растворов, обладают своими функциями. Например, трехкальциевый силикат (алит) – при высокой температуре очень быстро набирает прочность, что и является важным показателем при цементирование высокотемпературных скважин. Трехкальциевый алюминат - обладает низким уровнем прочности, что может оказать неблагоприятное воздействие при высокой температуре. Изучая каждый раствор, мы должны точно знать, как себя он поведет и хватит ли его при заливке в скважину. Если персонал при проверке цементного раствора заметит ошибку, её нужно будет исправить до момента начала подачи раствора в затрубное пространство скважины, так как процесс цементирования должен происходить без вмешательства.

Без правильной рецептуры цементного раствора может нарушиться целостность цементного камня. Это можно доказать на примере буровой установки Deerwater Horizon. Взрыв произошел 20 апреля 2010 года. Причиной взрыва стали различные факторы, основным из которых является неправильность рецептуры цементного раствора. Во-первых, причиной стало плохое отношение сотрудников к работе, потому что, не проверив цементирование, они покинули буровую плавучую установку. Во-вторых, когда проводилось исследование раствора в лаборатории, оказалось, что выделяется азот, но сама лаборатория об этом не сообщила руководству. Делая вывод, можно сказать, что раствор играет большую роль в скважине. Каждый химический элемент, может показать свой характер и нужно вовремя это заметить, чтобы не повторить глобальную катастрофу буровой установки Deerwater Horizon.

## **Выводы**

Успех цементируемых работ определяется качеством цементного раствора. Серьезное значение имеет квалификация операторов и инженерно-технического персонала. Для более точного и правильного раствора нужно полностью знать соотношения и взаимосвязь каждой химической добавки. При транспортировке цементного раствора можно нарушить соотношение и допустить побочные воздействия химического элемента в цементе. Необходимо всегда уделять серьезное внимание рецептуре раствора.

## **Благодарность**

Выражаю благодарность сотрудникам Российского государственного геологоразведочного университета им. Серго Орджоникидзе (МГРИ) за помощь в развитии научного проекта: проректору по международной деятельности и региональному сотрудничеству Машковой Анастасии Михайловне, заведующему кафедрой современных технологий бурения скважин, доктору технических наук, профессору Соловьеву Николаю Владимировичу, преподавателям кафедры современных технологий бурения скважин Овезову Батыру Аннамухаммедовичу и Щербаковой Ксении Олеговне, а так же студенту факультета технологии разведки и разработки Нестеренко Сергею.

## **Библиография**

1. Журавлев Г. И., Журавлева А. Г., Серебряков А. О. Бурение и геофизические исследования скважин: Учебное пособие. – 2-е изд., стер.- СПб: Издательство «Лань», 2018- 344 с.
2. А. Г. Калинин, Б. А. Никитин, К. М. Солодский, Б. З. Султанов. Бурение наклонных и горизонтальный скважин. Москва «НЕДРА» 1997.
3. Научно-технический прогресс в области промывки и крепления нефтяных и газовых скважин / [И. М. Алехин, Н. А. Мариампольский, В. И. Мутовин и др.]. – М. : Недра, 1987. – 255 с.
4. Карпов К. А. Технология бурения нефтяных и газовых скважин: учебное пособие для СПО/ К.А. Карпов. – 2-е изд., стер.- Санкт-Петербург : Лань, 2021. – 188 с.

***Вопросы контроля процесса цементирования направлений скважин с подводным расположением устья***

***Потапов А.В.\* (РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина,  
Potapov\_Andrew@bk.ru)***

**Аннотация**

К качеству цементирования направлений скважин с подводным расположением устья должны предъявляться особые требования для обеспечения безопасности проведения работ при строительстве и эксплуатации скважины.

Несвоевременное распознавание поглощений цементного раствора при цементировании направлений может повлечь за собой дополнительные временные и материальные затраты и нарушить целостность конструкции скважины. Существующие способы не всегда могут обеспечить достоверный контроль процесса цементирования направлений, особенно при наличии донной плиты системы безрайзерного удаления шлама (БУШ).

В докладе предложен, рассмотрен и обоснован способ контроля процесса цементирования направлений скважин с подводным расположением устья, который позволит увеличить достоверность контроля проведения работ, обеспечить определение возможных интервалов поглощений цементного раствора и выполнение вспомогательных функций.

**Ключевые слова**

Контроль процесса цементирования; направление; морская скважина; поглощение цементного раствора; вес на крюке.

**Теория**

В соответствии с энергетической стратегией Российской Федерации на период до 2035 года [1] ожидается активное развитие морских нефтегазовых месторождений, в том числе строительство скважин с подводным расположением устья. Наиболее развитым регионом Российской Федерации по строительству скважин с подводным расположением устья является шельф о. Сахалин.

Существующая технология проведения работ на шельфе о. Сахалин предполагает применение цементируемого направления  $D=762$  мм с предварительным расширением интервала [2]. При этом расширение интервала может осуществляться двумя способами: с применением морской воды с прокачкой вязких бентонитовых пачек; с использованием бурового раствора и промывкой с помощью системы БУШ. В настоящее время приоритетным является второй вариант, предполагающий применение системы БУШ, которая дополнительно включает донную плиту с погружной трубой [2], что усложняет контроль процесса цементирования направлений.

Цементирование направления производится по отработанной технологии через бурильные трубы  $D=139,7$  мм, спускаемые совместно с обсадной колонной на глубину ориентировочно 10 м до ее башмака. Стоит отметить, что впервые в отечественной практике цементирование направления через бурильные трубы с герметизированным

устьем скважины было осуществлено на скважине № 100 Возейской площади объединения «Коминнефть» [3] в конце 1970-х гг.

Контроль процесса цементирования направления на месторождениях шельфа о. Сахалин осуществляется следующими методами: а) по показаниям станции контроля цементирования, входящей в состав полупогружной плавучей буровой установки (ППБУ); б) по фактическим закачиваемым объемам растворов/жидкостей по емкостям ППБУ и мерным емкостям цементировочного комплекса; в) по выходу растворов/жидкостей на морское дно. Кроме того, для более точного определения выхода цементного раствора на устье скважины по опыту мировой практики, рекомендуется устанавливать рН-метр на телеуправляемый необитаемый подводный аппарат (ТНПА). В частности, представленный метод, был успешно применен на глубоководном месторождении «Malikai» в Малайзии, где на ТНПА было установлено два рН-метра [4]. Существующие способы не всегда могут обеспечить достоверный контроль процесса цементирования направлений, особенно при наличии донной плиты системы БУШ.

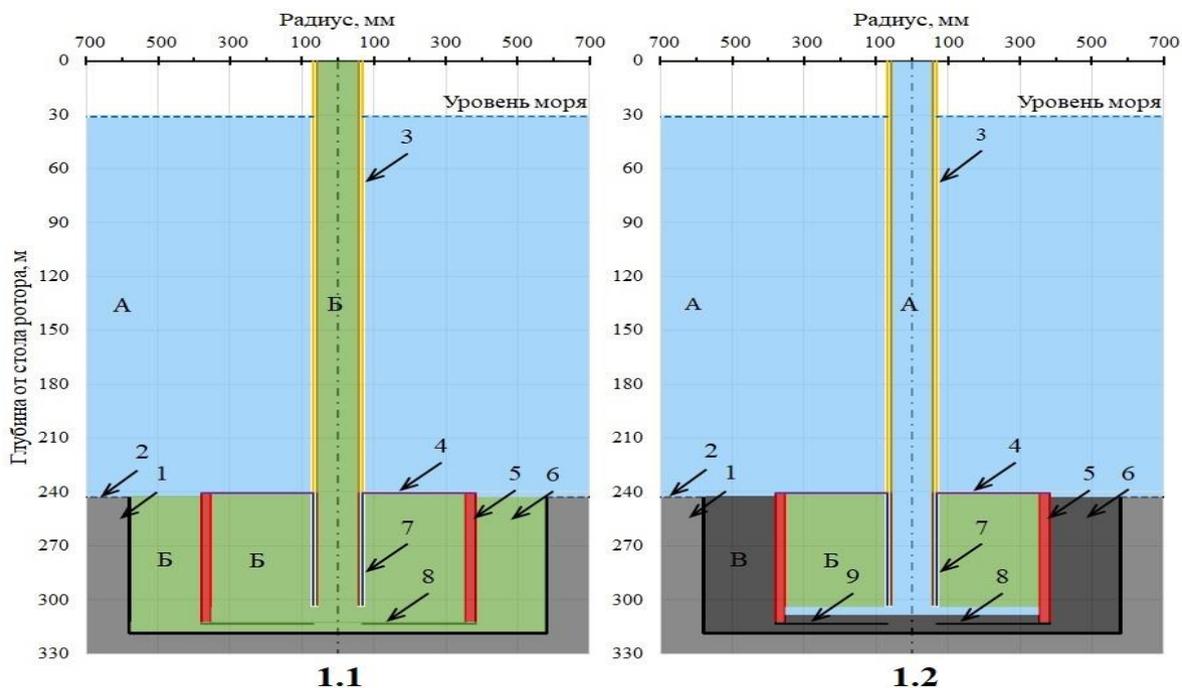


Схема процесса цементирования направления скважины с подводным расположением устья (с применением системы БУШ). 1.1 – после спуска направления; 1.2 – после завершения продавки цементного раствора; 1 – горная порода; 2 – уровень дна моря; 3 – допускная колонна ( $D=139,7$  мм); 4 – спусковой инструмент корпуса низкого давления СПКГ; 5 – направление ( $D=762$  мм); 6 – открытый ствол скважины с зумпфом; 7 – цементировочная колонна ( $D=139,7$  мм); 8 – башмак направления; 9 – цементный стакан в направлении; А – морская вода ( $\rho=1030$  кг/м<sup>3</sup>); Б – буровой раствор ( $\rho=1180$  кг/м<sup>3</sup>); В – цементный раствор ( $\rho=1850$  кг/м<sup>3</sup>).

Предлагается при цементировании направлений скважин с подводным расположением устья контролировать процесс движения цементного раствора за колонной при помощи датчика веса (по весу на крюке), расположенного на неподвижном конце талевого каната. Изменение веса на крюке обусловлено изменением выталкивающей (архимедовой) силы. Типовая схема процесса цементирования направления скважины с подводным расположением устья представлена на рисунке 1.

Автором было произведено совмещение на одном графике, в зависимости от времени в процессе цементирования направления, следующих показателей: накопленных объемов жидкостей/растворов; давлений на цементировочном агрегате; веса на крюке.

Выполнена разбивка процесса цементирования направления на характерные этапы с дальнейшим описанием процессов по вышеприведенным показателям по осложненным скважинам, представленным в [2].

Разработана аналитическая модель изменения веса на крюке в процессе цементирования направлений с проверкой по фактическим данным с получением высоких показателей по сходимости результатов. В процессе разработки аналитической модели были учтены положения, содержащиеся в [5].

## **Выводы**

Текущие способы контроля процесса цементирования направлений скважин с подводным расположением устья не в полной мере обеспечивают фиксирование поглощений цементных растворов, что может привести к проведению дорогостоящих исправительных работ в последующие этапы строительства скважины.

Применение способа контроля процесса цементирования направлений скважин с подводным расположением устья по весу на крюке, в дополнение к имеющимся, позволит обеспечить своевременное выявление поглощений, принятие оперативных решений по возможному проведению исправительного цементирования и выполнению вспомогательных функций. Особенно актуальным данный способ является при использовании донной плиты системы БУШ.

## **Библиография**

1. Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года. Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/node/1026>. Электронный ресурс (дата обращения: 14.02.2021).
2. Петренко В.Е., Оганов Г.С., Лихушин А.М., Потапов А.В. К вопросу цементирования направлений морских скважин с подводным расположением устья в условиях наличия геолого-технологических осложнений на примере месторождений шельфа о. Сахалин//Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море, М.: ОАО «ВНИИОЭНГ». – 2020, № 7 – с. 43-48.
3. Смирнов А.В., Абрамов А.А., Куксов А.К. Цементирование обсадных колонн большого диаметра через бурильные трубы// Нефтяное хозяйство – 1988, №2 – с. 60–62.
4. Jessica Goenawan, Rodrigo Goncalves, Mohammed Dooply, and Mathieu Pasteris, Tieng-Soon Heu, Lakmun Chan, Sunderesan Bhaskaran, Wim Hinoul. Overcoming Shallow Hazards in Deepwater Malikai Batch-Set Top-Hole Sections with Engineered Trimodal Particle-Size Distribution Cement//OTC-26409-MS – 2016. – с. 1–21.
5. B.S. Aadnoy, SPE, and E. Kaarstad. Theory and Application of Buoyancy in Wells// IADC/SPE 101795 – 2006. – с. 1–10.

**Восстановление продуктивности скважин путем строительства боковых стволов**  
**Рогов Е.А. (ООО «Газпром ВНИИГАЗ», Rogov.rea@yandex.ru), Контарев А.А.**  
**(ООО «Газпром ВНИИГАЗ», Alexeykontareff@mail.ru)**

### **Аннотация**

Строительство боковых стволов (БС) позволяет увеличить дебит скважин за счет вскрытия ранее считавшихся нерентабельными или пропущенных продуктивных горизонтов, а также позволяет обойти зоны и обводнения в пласте. Стоимость и срок окупаемости затрат при строительстве бокового ствола значительно ниже аналогичных показателей бурения новой скважины за счет использования большей части ствола существующей скважины и имеющейся инфраструктуры месторождения. Кроме того, строительство бокового ствола осуществляется в продуктивной зоне пласта, которая уже охарактеризована керновым материалом и результатами эксплуатации ранее пробуренных скважин, что значительно снижает затраты на проведение геофизических исследований.

### **Ключевые слова**

скважина, строительство, боковой ствол, цементирование.

### **Теория**

В настоящее время большинство нефтяных и газовых месторождений находятся на завершающей стадии эксплуатации. В процессе эксплуатации месторождений дебит скважин со временем уменьшается или прекращается практически полностью из-за выработки запасов углеводородов, высокой степени обводненности, высокого газового фактора, а также ухудшения коллекторских свойств продуктивных горизонтов, как следствие по данным причинам простаивает значительное количество эксплуатационных скважин. В данном случае есть два варианта решения проблемы: бурение новых скважин или бурение БС из уже существующей бездействующей скважины. Бурение новых скважин для замены вышедших из эксплуатации в целях восстановления сетки скважин на большинстве месторождений, находящихся на завершающей стадии разработки, является нецелесообразным. В этих условиях в качестве альтернативного, наиболее экономически эффективного решения может рассматриваться бурение БС из существующей скважины.

На основании анализа научно-технической литературы основными критериями выбора первоочередных объектов разработки для строительства БС являются [1 - 3]:

- низкопроницаемые, неоднородные и терригенные коллекторы малой толщины;
- слоистые пласты, в которых важно обеспечить увеличение степени охвата коллектора;
- нефтяные, нефтегазовые и водонефтяные залежи малой толщины и площади распространения;
- месторождения углеводородов на территориях с ограниченной возможностью ведения буровых работ;

- недонасыщенные коллекторы;
- пласты с малым диапазоном межпластового давления и давления насыщения.

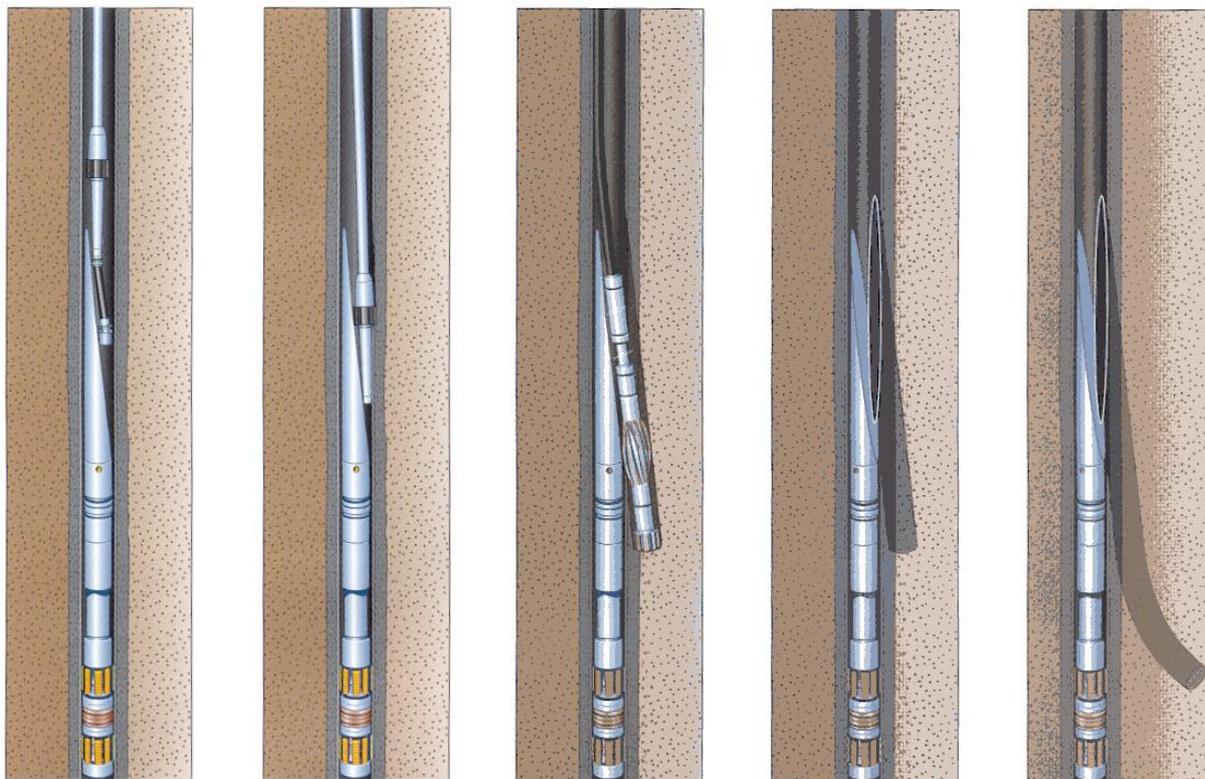
Основными элементами объектов разработки для бурения БС являются:

- разбуренные, заводненные зоны разрабатываемых объектов с целью восстановления сетки скважин;
- краевые участки залежей новых и разрабатываемых объектов;
- из полностью выработанных зон в зоны с минимальными нефтенасыщенными толщами на разрабатываемых объектах;
- неразрабатываемые выше-, нижележащие неосновные объекты или объекты возврата.

Реализация данной технологии позволяет:

- увеличить конечный коэффициент нефтеотдачи пластов за счет восстановления (уплотнения) сетки скважин на любой стадии разработки;
- вовлечь в разработку недренируемые ранее, заводненные, водонефтяные и подгазовые зоны залежей нефти;
- увеличить или приостановить темпы снижения добычи нефти;
- сократить расход финансовых и материальных ресурсов;
- существенно уменьшить расходы на экологические мероприятия;

Строительство БС производится также с целью ликвидации сложных аварий (смятие эксплуатационной колонны, заклинивание бурильного инструмента или эксплуатационного оборудования в скважине, незапланированное цементирование колонны бурильных или насосно-компрессорных труб и т.п.), возникших в процессе эксплуатации и ремонта скважины. Кроме того, условия строительства каждого БС в пределах месторождения или даже куста скважин могут существенно отличаться, так как со временем эксплуатации усиливается индивидуальность каждой типовой скважины из-за изменения состояния обсадной колонны, а также горно-геологических условий непосредственно за колонной и в продуктивном пласте. Каждый БС может быть построен на различной глубине, следовательно, и в разных горно-геологических условиях. Типовая схема проведения операций по строительству бокового ствола представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1.** Последовательность операций по строительству бокового ствола.

На основе анализа отечественного и зарубежного опыта крепления скважин 114 мм потайными колоннами ООО НТЦ «ЗЭРС» разработаны рекомендуемые технологические варианты спуска, подвески и герметизации 114 мм потайных колонн без их цементирования и конструкторская документация на комплексы технических средств типа ПХН 114/168 и ПХН-М 114/168. Совместно с ОАО «Тяжпрессмаш» налажено производство и проведены заводские и промысловые испытания комплексов технических средств для надежного разобщения пластов в процессе крепления скважин 114 мм потайными колоннами без их цементирования [4].

Комплексы включают всю необходимую технологическую оснастку для надежного разобщения пластов при креплении скважин 114 мм укороченными колоннами. Объектом применения комплексов технических средств являются скважины, обсаженные 168 мм колоннами, в которые спускаются укороченные колонны из 114 мм насосно-компрессорных труб (НКТ).

Для крепления хвостовиков без цементирования предусматриваются различные технико-технологические варианты комплексов технических средств (например, типа ПХН 114/168.000Б, ПХН 114/168.000-01Б, ПХН-М 114/168.000 и ПХН-М 114/168.000-01), которые отличаются по способу разобщения пластов, возможности использования скважинных фильтров, гидравлическому способу приведения технических средств в действие. Комплексы также отличаются по интегральному или дифференциальному исполнению, то есть по возможности использования отдельных узлов якоря, пакера и гидравлического разъединителя потайной колонны от транспортировочной колонны, либо эти узлы интегрированы в одно устройство. в состав комплексов типа ПХН-М 114/168 входят заколонные гидравлические проходные пакеры типа ППП-114. Основные параметры и размеры комплексов приведены в таблице 1.

Таблица 1  
Техническая характеристика комплексов ПХН 114/168 и ПХН-М 114/168.

Параметры	Значение
1. Условный диаметр хвостовика, оборудованного устройством, мм	114
2. Условный диаметр обсадной колонны, в которую производится спуск и установка устройства в скважине, мм	168
3. Максимальный наружный диаметр устройства, мм	144
4. Проходной диаметр устройства подвески, мм	97
5. Минимальный проходной диаметр в верхнем переводнике устройства, мм	65
6. Максимальный диаметр окружности, описывающий раздвижные и герметизирующие элементы устройства в рабочем положении, мм	155
7. Значения внутренних избыточных давлений для приведения в действие устройства:	
7.1. Давление срабатывания заякоривающего узла $P_1$ , МПа	13±10 %
7.2. Давление срабатывания гидромеханического пакера $P_2$ , МПа	13±10 %
7.3. Давление срабатывания разъединяющего узла $P_3$ , МПа	16±10 %
8. Максимальный перепад давления между разобщаемыми гидромеханическим пакером зонами $\Delta P$ , МПа	15
9. Максимальная рабочая температура, °С	100

При использовании комплексов типа ПХН 114/168 осуществляются следующие технологические операции.

Спуск комплекса ПХН 114/168 в составе 114 мм хвостовика на равнопроходной транспортировочной колонне труб с внутренним диаметром не менее 55 мм (для исполнения ПХН 114/ 168.000Б) или на любой транспортировочной колонне (для исполнения ПХН 114/168.000-01 Б). Перекрытие внутреннего канала хвостовика с помощью дроссельно-запорного клапана или цементировочной пробки. Повышение внутреннего избыточного давления и последовательное приведение в действие узлов якоря и автоматического разъединителя потайной колонны от транспортировочной колонны. Проведение промывки и подъем транспортировочной колонны.

При использовании комплексов типа ПХН-М 114/168 осуществляется следующая совокупность технологических операций.

Спуск комплекса ПХН-М 114/168 в составе 114 мм хвостовика на равнопроходной транспортировочной колонне труб с внутренним диаметром не менее 55 мм (для исполнения ПХН-М 114/168.000) или на любой транспортировочной колонне (для исполнения ПХН-М 114/168.000-01). Перекрытие внутреннего канала хвостовика с помощью дроссельно-запорного клапана или цементировочной пробки и подготовка к срабатыванию пакера ППП-114 путем повышения внутреннего избыточного давления с последующим снижением его до нуля. Проведение пакеровки скважины путем повышения внутреннего избыточного давления, с последующим снижением его до нуля, для закрытия клапанной системы пакера ППП-114. Повышение внутреннего избыточного давления и последовательное приведение в действие узлов якоря, гидромеханического пакера и автоматического разъединителя потайной колонны от

транспортировочной колонны. Проведение промывки и подъем транспортировочной колонны.

При использовании ПХН 114/168 необходимо провести профилометрию эксплуатационной колонны в интервале установки устройства и шаблонирование колонны шаблоном диаметром 146 мм. Внутренний диаметр колонны в интервале установки устройства не должен превышать 155 мм и быть не менее 146 мм. Интервал спуска хвостовика и глубина установки узлов устройства указываются геологической службой предприятия. Скорость спуска хвостовика с устройством не должна превышать 1,0 - 1,5 м/с. Глубина спуска нецементируемых хвостовиков, оснащенных комплексом типа ПХН 114/168 составляет до 3500 м. Спуск 114 мм хвостовиков, как правило, осуществляется на транспортировочной колонне состоящей из бурильных труб ТБПН 89 х 9,4 «Е» без использования цементиловочных пробок.

### **Выводы**

Проведенными опытно-промышленными работами по использованию комплекса технических средств для спуска 114 мм хвостовиков без цементирования типа ПХН 114/168 на месторождениях ОАО «Сургутнефтегаз» и ОАО «Нижневартовскнефтегаз» подтверждены работоспособность и эксплуатационная технологичность этих устройств, которая обеспечивает проведение процесса спуска хвостовика, в заданный интервал горизонтальной скважины и отсоединение его от транспортировочной колонны в автоматическом режиме без использования цементиловочных пробок. Комплексы типа ПХН 114/168.000-01 Б и ПХН-М 114/168.000-01 могут использоваться для крепления скважин, построенных с применением колтюбинга, так как в этих технологических вариантах не используются цементиловочные пробки.

### **Библиография**

1. Бурение наклонных, горизонтальных и многозабойных скважин. Повалихин А.С., Калинин А.Г., Бастриков С.Н. / М.: ЦентрЛитНефтеГаз, 2011. - 647 с.
2. Устькачкинцев, Е.Н. Определение критериев выбора скважин-кандидатов для зарезки в них боковых стволов / Е.Н.Устькачкинцев, Р.Я.Хусаенов, Н.В.Макаров // Нефтяное хозяйство. - 2013.- № 2. - С. 78 - 81.
3. Чернышов С.Е. Основные направления повышения эффективности строительства боковых стволов // Нефтяное хозяйство. - 2011. - № 8.- С.98 - 101.
4. Каталог комплексов технических средств для крепления скважин хвостовиками 89, 102, 114, 127 мм. ОАО «Тяжпрессмаш», 2018. – 54 с.

**Отбор представительного керна из пологих и горизонтальных скважин при разведке и разработке месторождений комплексного сырья**  
**Сапожков А.А.\* (ФГБОУ «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» 23, Миклухо-Маклая ул., г. Москва 117997, Россия e-mail: sapozhkovartem@mail.ru)**

### Аннотация

Основой благосостояния России является её минерально-сырьевая база, то есть запасы полезных ископаемых, выявленные в результате геологоразведочных работ. Наращивание запасов полезных ископаемых в современных условиях возможно, как за счет поисков и разведки месторождений полезных ископаемых, залегающих в сложных геолого-географических условиях, так и за счет комплексного изучения месторождений и подсчета запасов попутных полезных ископаемых и компонентов. Большой интерес представляют попутные полезные ископаемые, залегающие в тяжелых углеводородах (тяжелые нефти, природные битумы), которые часто обогащены металлами-примесями, например, ванадием, никелем и титаном. В статье предложены направления исследований по разработке технических средств и технологических приемов для решения этих проблем, что позволит повысить эффективность геологоразведочных работ не только на этом месторождении, но и при разведке комплексных месторождений такого типа. Основой благосостояния России является её минерально-сырьевая база, то есть запасы полезных ископаемых, выявленные в результате геологоразведочных работ.

Большой интерес представляют попутные полезные ископаемые, залегающие в тяжелых углеводородах (тяжелые нефти, природные битумы).

### Ключевые слова

ССК, бурение, горная выработка, техника геологоразведочных работ.

### Теория

При колонковом бурении пологих и горизонтальных геологоразведочных скважин на Ярегском месторождении был обнаружен ряд проблем, снижающих эффективность отбора представительного керна. Доставка в корпус снаряда ССК съемного керноприемника и овершота в пологих и горизонтальных скважинах возможна только гидравлическим способом (Рис.1).

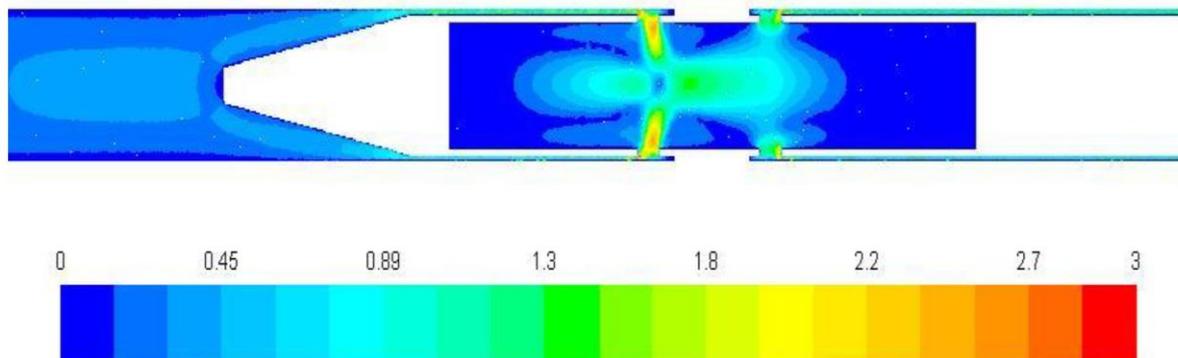


Рисунок 1.

Значительные потери промывочной жидкости в кольцевом зазоре, образованном стенками скважины (особенно трещиноватыми) и бурильной колонной, приводят к значительному изменению гидравлических сопротивлений в системе «колонна ССК – затрубное пространство». Разработка гидравлических расчетов для таких систем позволит снизить излишние энергозатраты и обеспечить надежный гидротранспорт съемного керноприемника.

При бурении пологих и горизонтальных скважин гладкоствольными снарядами ССК, не оборудованных опорно-центрирующими элементами, происходит их самопроизвольное искривление. Для проведения таких скважин по проектной трассе в соответствии с геолого-техническим нарядом интервалы колонкового бурения снарядом ССК чередовались с интервалами направленного искривления. В результате ствол скважины имел ряд перегибов, в которых часто происходил обрыв бурильных труб или непрохождение съемного керноприемника. Разработка специальных компоновок низа снаряда ССК и правильное сочетание интервалов колонкового и бескернового бурения позволит снизить аварийность отбора керна при направленном бурении пологих и горизонтальных скважин.

## **Выводы**

Разработка технических средств и технологических приемов для решения проблем, обнаруженных в результате бурения пологих и горизонтальных геологоразведочных скважин на Ярегском месторождении позволит повысить эффективность отбора керна не только на этом месторождении, но и при разведке комплексных месторождений такого типа.

## **Библиография**

1. Коноплев Ю.П., Буслаев В.Ф., Ягубов З.Х., Цхадая Н.Д. Термошахтная разработка нефтяных месторождений. М.: Недра, 2006. С 174.
2. Макаревич В.Н., Искрицкая Н.И., Богословский С.А. Ресурсный материал тяжелых нефтей Российской Федерации: перспективы освоения. М.: Недра, 2008. С 115.
3. Методические рекомендации по комплексному изучению месторождений и подсчету запасов попутных полезных ископаемых и компонентов // Министерство природных ресурсов и экологии РФ от 03 апреля 2007 года №11-17/0044-пр.
4. Стратегия развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года // Утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 декабря 2018 г. № 2914-р.
5. Первушин Н.Г., Корюков В.Н., Миронов С.Е., Пегушин А.А., Сторожев М.В., Михеев П.С., Банщикова Н.А. О перспективном комплексном освоении Ярегского нефтетитанового месторождения. М.: ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» г. Екатеринбург, 2012. С 4.
6. Повалихин А.С., Калинин А.Г, Бастриков С.Н., Солодкий К.М. Бурение наклонных, горизонтальных и многозабойных скважин // Под ред. д.т.н., проф. Калинина А.Г. М: Изд. ЦентрЛитНефтеГаз, 2011. С 647.
7. Фомин А.И. Особенности разработки Ярегского месторождения тяжелой нефти. www.nc-vostnii.ru • 1-2019 • Вестник НЦ ВостНИИ.

*Исследование смятия обсадных колонн в соленосных горных породах  
Сырчина А.С.\* (МГРИ, [syrchinaas@mgri.ru](mailto:syrchinaas@mgri.ru)), Ганджумян Р.А. (МГРИ,  
[gandzhumyanra@mgri.ru](mailto:gandzhumyanra@mgri.ru)), Попов В.О. (МГРИ, [popovvo@mgri.ru](mailto:popovvo@mgri.ru))*

## Аннотация

Ежегодные убытки от аварий с обсадными трубами при строительстве в нефтяных и газовых скважинах, пробуренных через толщи соленосных отложений в различных районах превышают несколько миллионов рублей. Размыв и вязкопластическое течение соленосных толщ ведут к потере устойчивости пристволевой зоны. В большинстве случаев повреждения обсадных труб послужили причиной ликвидации скважин.

Эти факты свидетельствуют о том, что в интервалах, осложненных соляными породами, существующие методы расчета обсадных труб не всегда соответствуют реальным условиям их нагружения.

Выдавливание глинистых или соляных пород в скважину вызывает деформацию кровли и подошвы пласта. Явление ползучести обуславливает смятие обсадных и насосно-компрессорных труб. Проявление ползучести горных пород усиливается с ростом глубины бурения и увеличением температуры окружающих пород.

## Ключевые слова

Смятие, ползучесть, соленые толщи.

## Теория

Обзор состояния проблемы давления горных пород на крепь скважин и методов расчета последней показал, что по отношению к вертикальным выработкам в горном деле было предложено четыре основных гипотезы о горном давлении:

- ✓ гипотеза восстановления естественного напряженного состояния /М.М. Протодяконов, П.М. Цимбаревич, А.Н. Динник, Е.Т. Просякин и др./;
- ✓ гипотеза свода /М.П. Бродский, П.М. Пимбаревич, Ю.А. Онщенко и др./;
- ✓ гипотеза об отсутствии давления горных пород на крепь /Н.М. Покровский и др./
- ✓ гипотеза взаимодействия крепи и породы при совместной деформации, высказанная впервые Р. Феннером и развитая позднее А.Лабассом, Г.Н. Савиным, Ф.А. Белаенко, Л.Б. Ершовым, К.Б. Руппенеитом, Ю.М. Либерманом, В.В. Матвиенко, Ю.А. Песляком и др.

Три первые гипотезы имеют лишь и стоическое значение; современному состоянию науки о горном давлении в наибольшей степени отвечает последняя.

Главные ее положения следующие: в пристволевой зоне выработки вследствие концентрации напряжений образуется "зона неупругих деформаций", что проявляется в сужении сечений выработки за счет увеличения объема породы в этой зоне; крепь препятствует развитию радиальных смещений пород в силу своей жесткости; давление

горных пород на крепь снижается с развитием их совместной деформации, чем более податлива крепь, тем меньшее давление она должна испытывать.

Одна из главных особенностей, отмеченная при инструментальных исследованиях давления горных пород - неравномерность его распределения по периметру крепи вертикальных выработок, меньшая в более пластичных породах и выработках правильного очертания.

Вопросы расчета круговой крепи под действием гидравлического давления в значительной мере решены. Несколько хуже, но также достаточно полно, исследованы вопросы устойчивости крепи, деформации которой ограничены твердой оболочкой (работы Г. Линка, К. Федерхофера и Е. Амштутца, и др.). Цементная оболочка, окружавшая стальные трубы, может увеличить их устойчивость от действия гидравлического давления от нескольких десятков процентов (опыты А.А. Гайворонского, Л.Б. Измайлова) до 3 раз (опыты Ф. Гертриха).

Теоретическое решение задачи об устойчивости обсадных труб, воспринимающих всестороннее равномерное давление упругого тела, дает основание считать, что при реализации в скважинах рассмотренной указанными авторами схемы нагружения, за устойчивость труб можно было бы не опасаться - в этом случае она приблизительно на порядок выше устойчивости труб в жидкости. Но, горные породы в упругом состоянии не могут оказывать давления на обсадные трубы, так как упругие деформации пород проявляются задолго до спуска обсадных колонн в скважину.

Основным препятствием на пути практического использования всех без исключения расчетных схем неравномерного нагружения обсадных труб, предложенных указанными выше авторами, является отсутствие рекомендаций по прогнозированию расчетной схемы вообще и схемы распределения давления реальных горных пород в частности в конкретных ситуациях.

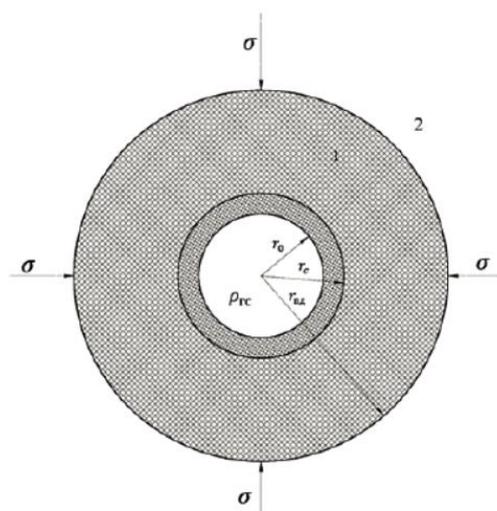
С целью выявления общности в причинах повреждения обсадных колонн, перекрывающих соленосные отложения в различных районах, были систематизированы данные по случаям нарушений обсадных труб в скважинах, пробуренных на территории Солекамского, Приятского, Восточно-Сибирского солеродных бассейнов, в прикаспийском, предуральском и закавказском регионах. Рассмотрены также некоторые повреждения труб в глинистых породах, не входящих в состав соленосной толщи.

Сравнение опыта бурения скважин в указанных районах показало, что повреждениям обсадных колонн в большинстве случаев предшествовали осложнения при бурении, соляных или глинистых пород, вызванные их пластической деформацией, интенсивность которой зависит от литологического состава пород соленосной толщи, глубины их залегания, пластовой температуры, плотности применяемой промывочной жидкости и других факторов.

Расчетами показано, что в 35% случаев повреждений колонн полная величина геостатического давления была меньше прочности обсадных труб на смятие гидростатическим давлением с учетом давления столба промывочной жидкости в колонне; в двух случаях - равна и в остальных больше. При уменьшении геостатического давления соляных пород на величину их длительного предела ползучести, количество случаев повреждения обсадных труб при прочности на смятие, большей геостатического

давления пород, при равномерном его распределении по периметру труб, возрастает до 70%.

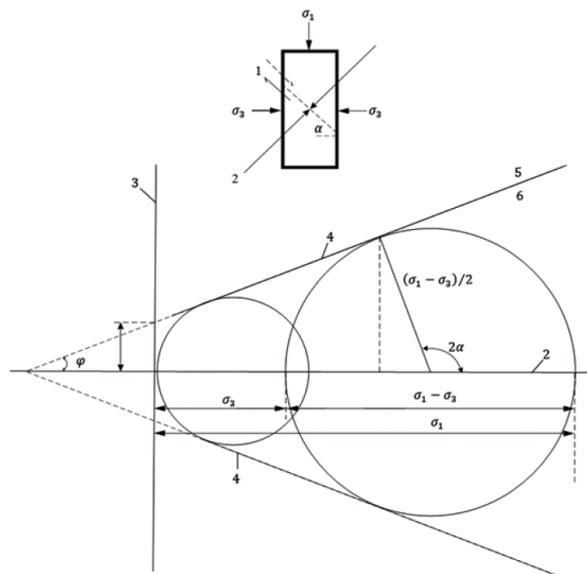
При оценке прочности труб на смятие по формуле Ляме (Гадолина), соотношение прочности труб и геостатического давления пород распределяется следующим образом: только в 14 % случаев величина геостатического давления массива могла быть выше прочности труб на смятие с учетом давления жидкости внутри обсадной колонны. В остальных 86% случаев обсадные трубы не могли быть повреждены равномерно распределенным давлением горных пород. Если, при расчете труб на прочность, давление горных пород уменьшить на величину их предела ползучести, то ни в одном из рассмотренных случаев обсадные трубы не могли быть нарушены равномерно распределенным геостатическим давлением (рис. 1.).



**Рисунок 1.** Пластическая деформация ствола скважины:  $r_c$  – начальный радиус ствола;  $r_0$  – радиус ствола после деформации;  $r_{пл}$  – наружный радиус зоны пластических деформаций;  $p_{гс}$  – давление флюида в стволе скважины; 1 – зона пластических деформаций; 2 – зона упругих деформаций. [2]

Особенностями характера деформации обсадных труб, подверженных давлению деформирующихся пород, отличающимися повреждение труб в этом случае от смятия их гидравлическим давлением, является длительность и прогрессирование во времени сужения сечения колонны с переходом его в форму эллипса, иногда сопряженное с местным поперечным изгибом колонны, в отдельных случаях вплоть до ее разрыва и разведения концов в разные стороны.

К рассматриваемому вопросу с позиции упрощенной систематизации экспериментальных данных подошел Мор. Сформулированная им теория носит название теории Мора. На основана на результатах испытаний образцов горны пород в камере при трехмерных нагрузках [1]. При этом напряженное состояние графически изображается на плоскости при помощи кругов Мора и получило название круговой диаграммы напряженного состояния или кругом Мора (рис.2).



**Рисунок 2.** Диаграмма Мора для пластического разрушения: 1 – напряжение сдвига; 2 – нормальное напряжение; 3 – дифференциальное напряжение; 4 – линия разрушения; 5 – зона неустойчивости; 6 – зона устойчивости;  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$  – продольное и поперечное напряжения сдвига соответственно. [2]

## Выводы

1. Анализ повреждений обсадных колонн, перекрывающих интервалы скважин, осложненные течением соляных пород, показывает, что в этих интервалах со временем происходит деформация труб, рассчитанных даже на полное геостатическое давление из предположения о равномерном его распределении по периметру труб.

2. Наиболее опасными напряжениями, возникающими в стенках обсадных труб при взаимодействии их с деформирующимися горными породами, являются напряжения от контактного давления пород, распределенного лишь по части периметра наружной поверхности труб.

3. Величина контактного давления соляных пород на обсадные трубы зависит от скорости их течения, вязкости, диаметра труб, площади контакта труб с породой и может быть определена для каждого конкретного случая.

## Библиография

1. Власов А.В. «Основы теории напряженного и деформированного состояний». – М., 2006 г.
2. Ганджумян Р.А., Попов В.О., Сырчина А.С. Прогнозирование устойчивости ствола скважины в интервалах солевых отложений. – М., Инженер-нефтяник, №3 2020 г., с. 16 – 20.
3. Герасимов Д.С., Овчинников В.П., Салтыков В.В., Овчинников П.В. Научно-техническое обоснование методов подбора обсадных колонн при воздействии на них локальных нагрузок. - Современные технологии в нефтегазовом деле – 2018 г.
4. Ивлеев Д.Д. Предельное состояние деформированных тел и горных пород. - Москва: Физматлит, 2008. - 830 с.

*Механизм коррозии внутрискважинного оборудования в кислотной среде*  
*Сырчина А.С.\* (МГРИ, syrchinaas@mgri.ru)*

**Аннотация**

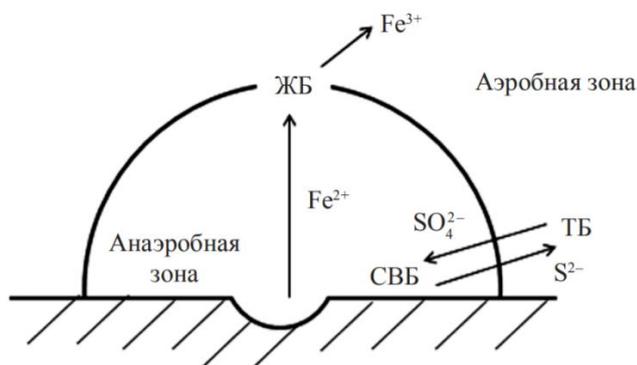
Бурение газовых и газоконденсатных скважин сопровождается рядом возможных осложнений, одним из которых является нарушение герметизации резьбовых соединений в результате агрессивного влияния сероводородной кислоты. Сероводород, встречающийся на газовых и газоконденсатных месторождениях имеет биогенную или реликтовую природу, основной причиной наличия этого газа является наличие сульфатвосстанавливающих бактерий.

**Ключевые слова**

Сероводород, обсадные трубы, коррозия металла.

**Теория**

Наибольшую опасность с точки зрения коррозии представляют сульфатвосстанавливающие бактерии (СВБ), они широко распространены в природе и развиваются в илистых, глинистых и болотных грунтах, грязи, сточных водах, нефтяных скважинах, донных осадках, почве, цементе. СВБ относятся к классу анаэробных бактерий, которые могут существовать и при отсутствии кислорода. Аэробные бактерии, такие как железобактерии (ЖБ) и серобактерии или тионовые (ТБ), присутствующие в скважинах наряду с СВБ, напротив, жизнеспособны только в присутствии кислорода. Анаэробные и аэробные бактерии имеют общую среду обитания, и поэтому зачастую развитие одних создает благоприятные условия для других.



**Рисунок 1.** Схема взаимодействия адгезированных на металле микроорганизмов

Коррозионное растрескивание стали в присутствии сероводорода (сульфидное коррозионное растрескивание под напряжением, СКРН или SSC) представляет собой один из наиболее опасных видов разрушения внутрискважинного оборудования, так как прогнозировать вероятность образования трещин и скорость их развития очень сложно (рис.1.). В связи с этим в 70-х годах прошлого века был разработан международный стандарт NACE MR0175 (ISO 15156), в котором содержится классификация коррозионных сред по их способности вызывать коррозионное растрескивание в зависимости от содержания в них сероводорода, pH и др.

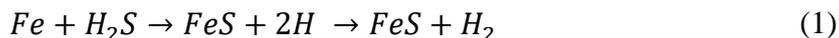
Сероводород ( $H_2S$ ) является агрессивным газом, провоцирующим кислотную коррозию, которую в этом случае называют сероводородной коррозией, т.к. растворяясь в воде, он образует слабую кислоту.

Применяемые при обустройстве месторождений углеродистые стали в присутствии извлекаемого флюида, содержащего сероводород, подвергаются усиленному коррозионному воздействию, механизмы данных процессов достаточно полно отражены в ряде исследований сотрудников отраслевых институтов [1, 2, 7].

Так как большинство месторождений находится на последнем этапе разработки, извлекаемый флюид характеризуется высокой степенью обводненности, достигающей, в некоторых случаях 98%. Насыщение водной фазы сероводородом, вызывает множество электрохимических процессов. Результатом данных процессов, являются образовавшиеся на поверхности металла отложения продуктов коррозии и атомы водорода, диффундирующие в металл, и вызывающие наводороживание стали. Наводороживание стали зачастую провоцирует развитие коррозионного растрескивания металла [3, 4].

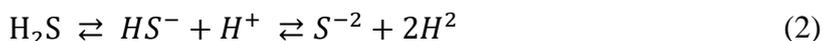
Наводороживание стали – это процесс поглощения металлов водорода в процессе коррозии, в случае внутрискважинного оборудования – кислотной коррозии.

Коррозионные процессы железа в растворе воды и сероводорода происходят по следующему уравнению:



Данные реакции протекают в три этапа:

1) В результате ионизации сероводорода в водном растворе происходит образование ионов водорода:



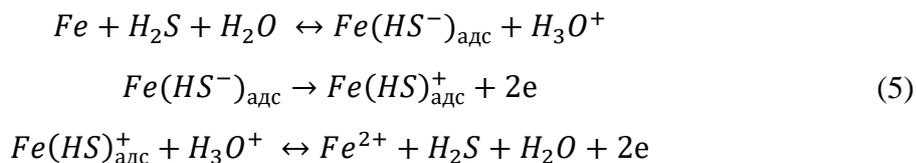
2) Железо, в свою очередь, ионизируется и ионы переходят в водный раствор (анодная реакция):



3) После чего происходит разрядка ионов водорода и образование атомарного водорода (катодная реакция) [8]:



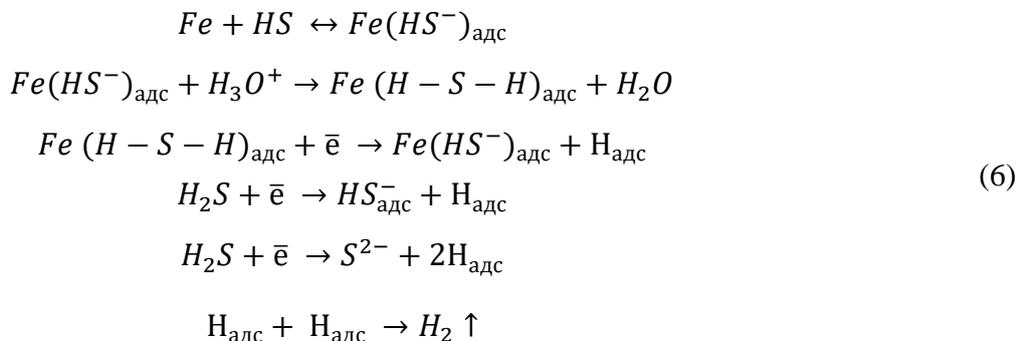
Выделяющиеся в результате жизнедеятельности СВБ сульфидионы ускоряют одновременно и анодный, и катодный процессы, реакция 5:



В ходе реакции 5 железо, вступая в реакцию с сероводородом в водной среде, образует комплекс  $Fe(HS^-)_{адс}$  и гидроксоний – комплексный ион, образованный

молекулой воды и протона. Затем комплекс  $Fe(HS^-)_{адс}$  распадается на комплексный ион с отделением 2 электронов, после чего железо окончательно растворяется с образованием иона железа.

Кроме анодной реакции растворения железа выделяют катодную реакцию:



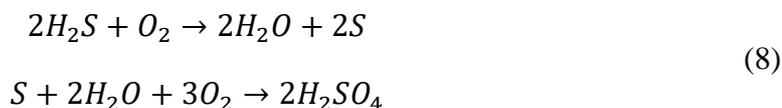
Вследствие этого ускоряющего действия сульфид-ионов скорость коррозионного разрушения стальных конструкций в присутствии СВБ может возрасть в 20 раз [5].

В результате анодного процесса при коррозии железоуглеродистых сплавов выделяются ионы  $Fe^{2+}$ , которые в присутствии кислорода перерабатываются ЖБ согласно реакции:

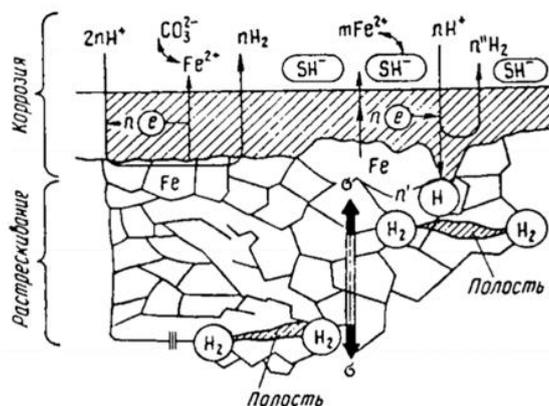


Данный процесс происходит с высвобождением энергии, которую ЖБ используют на усвоение углерода из углекислого газа и карбонатов, а выделение труднорастворимого гидроксида железа  $Fe(OH)_3$  приводит к образованию на металлической поверхности пленок, под которыми возникают замкнутые анаэробные зоны, где происходит размножение СВБ.

На разрушение металлов оказывают влияние и аэробные серобактерии. ТБ – это распространенная группа прокариот, окисляющих восстановленные соединения серы. Например, виды, обитающие в горных породах, в процессе жизнедеятельности окисляют сероводород в серу, а затем в серную кислоту:



Основной конечный продукт окисления соединений серы – сульфаты, которые, в свою очередь, являются питательной базой для сульфатовосстанавливающих бактерий. Таким образом, необходимо отметить определенное взаимодействие разных видов бактерий, приводящее к увеличению коррозионных повреждений. Причем влияние биологического фактора на коррозионный процесс подземных стальных трубопроводов может проявляться как в виде непосредственного воздействия на стальные конструкции продуктов, вырабатываемых микроорганизмами, так и в виде образования на корродирующей стальной поверхности пленок, не только способствующих развитию колоний анаэробных бактерий, но и приводящих к возникновению коррозионных элементов, в том числе и дифференциальной аэрации (рис.2).



**Рисунок 2.** Схематическое представление процесса воздействия коррозионно-опасной среды на металл [6].

Одной из функций цементного камня является защита обсадных труб и внутрискважинного оборудования от коррозионного воздействия пластовых флюидов. Защитная функция цементного камня значительно увеличивается при введении в тампонажный раствор ингибиторов сероводородной агрессии. Наибольшую популярность получили ингибиторы, в основе которых лежат азотсодержащие соединения, например, такие как ВФПМ, АНП-2, катапин, уротропин и другие. Однако, в виду деятельности бактерий, которые лежат в основе кислотной агрессии, в том числе сероводородной, необходимо бороться не только с кислотами, но и с самими бактериями. Следовательно, целесообразно вводить комплекс, которые помимо всего прочего должен обладать бактерицидными свойствами.

## Библиография

1. Ботвина Л. Р. Закономерность повреждаемости низколегированных сталей в коррозионно-активных сероводородсодержащих средах / 98 Ботвина Л. Р., Тетюева Т. В., Крупнин С. А. // Физико-химическая механика материалов, 1990, N 2, с. 27-33.
2. Ботвина Л. Р. Кинетика разрушения конструкционных материалов / Ботвина Л. Р. - М.: Наука, 1989 г.
3. Герцог Э. Коррозия металлов./ Герцог Э. - М.: Металлургия, 1964.
4. Гоник А.А. Коррозия нефтепромышленного оборудования и меры ее предупреждения / Гоник А.А. – М., "Недра", 1976].
5. Колгушкин А. В., Беляев Н. Д. Влияние природных факторов на скорость коррозии морских ГТС // Предотвращение аварий зданий и сооружений: электрон. журн., дата публикации: 2009-06-25.
6. Саакян Л.С. Защита нефтепромышленного оборудования от коррозии. / Саакян Л.С., Ефремов А.П. - М.: Недра, 1982.
7. Тетюева Т. В. Стадийность множественного разрушения низколегированных сталей в среде сероводорода / Тетюева Т. В., Ботвина Л. Р., Иоффе А. В. // МиТОМ, 1998, N2, С. 14 – 22.
8. Шрейдер А.В. Влияние водорода на нефтяное и химическое оборудование / Шрейдер А.В., Шпарбер И.С., Арчаков Ю.И. – М.: Машиностроение, 1976].

**Вынос шлама горизонтальным потоком промывочной жидкости  
Тунгусов С.А.\* (МГРИ, tungusov\_sa@mail.ru)**

### Аннотация

Рассмотрен перенос частиц шлама в потоке промывочной жидкости, как на, вертикальном так и на горизонтальном участке. При этом основной акцент сделан на переносе шлама, находящегося на горизонтальной стенке скважины, потоком жидкости.

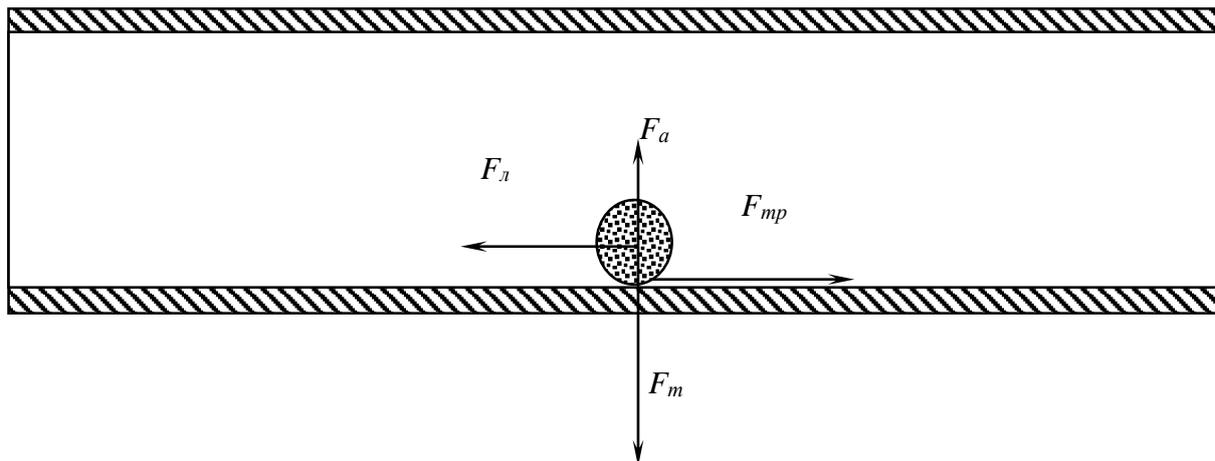
### Ключевые слова

наклонно-направленная скважина, поток промывочной жидкости, перенос частиц шлама

### Теория

Разведка месторождений полезных ископаемых требует среди прочего отбора представительных проб керна, что в свою очередь может вести к необходимости бурения наклонно-направленной скважины. Известно, что при бурении наклонно-направленных скважин в местах искривления и на горизонтальных участках ствола происходит накопление шлама [1]. Движение шлама по вертикальному стволу скважины отличается относительной простотой происходящего процесса и на сегодняшний день расчет скорости восходящего потока, необходимой для транспортирования шлама по вертикальному стволу, имеет как хорошее теоретическое обоснование, так и достаточно хорошее подтверждение практикой [2]. Движение шлама по горизонтальному стволу скважины имеет более сложную физику процесса и потому расчет необходимой скорости движения потока промывочной жидкости может быть затруднен. Так при движении частицы в восходящем потоке скорость этого потока для выноса частицы будет определяться достаточно просто, она должна быть немногим больше скорости витания частицы, скорость витания частицы возможно определить воспользовавшись, например выражением Стокса [3]. Стоит отметить что все силы, действующие на частицу в вертикальном потоке, направлены вдоль одной лишь вертикальной оси. Картина распределения сил полностью меняется, как только частица шлама оказывается на горизонтальной стенке скважины. В таком положении (рисунок 1.) на частицу действует сила лобового сопротивления  $F_{л}$ , направленная в сторону движения потока, сила трения  $F_{тр}$ , направленная противоположно, силы тяжести  $F_{т}$  и Архимеда  $F_{а}$ , действующие разнонаправлено по вертикали.

Такое распределение сил приведет к тому, что частица, которая отделилась от забоя скважины и находящаяся во взвешенном состоянии через некоторое время под действием силы тяжести опустится на стенку скважины. Единственная сила, которая стремится вернуть частицу в поток, это сила Архимеда, которой недостаточно, т.к. плотность шлама, как правило, больше плотности промывочной жидкости. Увеличение же скорости потока промывочной жидкости приведет лишь к увеличению силы лобового сопротивления, что позволит преодолеть в конечном итоге силу трения, и как следствие приведет к перекачиванию частицы. Частица будет перекачиваться до тех пор, пока она не встретится с углублением в стенке скважины и не осядет там снова или не попадет на поверхность с большим коэффициентом трения. Подобная ситуация приведет, к тому, что придется вновь увеличивать расход промывочной жидкости, и частицы вновь будут перекачиваться, но так и не перейдут во взвешенное состояние.



**Рисунок 1.** Силы, действующие на частицу шлама, находящуюся на нижней стенке скважины.

Переход частицы во взвешенное состояние в данном случае может происходить двумя путями. Частицы могут накатываться друг на друга образуя скопления – дюны, а уже частицы находящиеся на вершине дюны слетая с нее начнут двигаться в потоке во взвешенном состоянии. Так же, за счет асимметрии у некоторых частиц при обтекании их горизонтальным потоком может возникнуть подъемная сила, которая будет больше суммы силы Архимеда и силы тяжести, и в этом случае частица сможет перейти во взвешенное состояние.

Как известно, в общем случае, подъемная сила пропорциональна квадрату скорости потока и определяется давлением. Подъемную силу можно определить, например, из выражения (1) [4]:

$$F_n = \rho \cdot k \cdot \Omega \cdot v^2 \quad (1)$$

где:  $\rho$  – плотность промывочной жидкости;

$v$  – скорость потока промывочной жидкости вблизи частицы шлама;

$\Omega$  – площадь миделевого сечения;

$k$  – коэффициент, учитывающий форму частиц (для частиц неровной формы от 0,3 до 0,4; для шара 0,13).

## Выводы

Следовательно скорость движения потока для перемещения частиц по горизонтальной стенке скважины следует рассчитывать для двух разных случаев, если шлам имеет относительно однородный состав по размеру и возможно вычисление создаваемой потоком подъемной силы, то скорость движения потока в этом случае должна рассчитываться исходя из этого условия. Если же не удастся достичь подобной скорости (невозможно увеличение расхода очистного агента, например по геологическим причинам), то скорость движения потока следует выбирать исходя из условий перекачивания частиц – движения дюн.

## **Библиография**

1. Султанов Б.З., Калинин А.Г., Никитин Б.А., Солодкий К.М. Бурение наклонных и горизонтальных скважин. – М.: Недра, 1997. – 650 с.
2. Пеньков А.И., Булатов А.И., Проселков Ю.М.. Справочник по промывке скважин – Москва.: Недра, 1984. – 317с.
3. Маковей Н. Гидравлика бурения. – Москва.: Недра, 1986. – 536 с.
4. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М: Наука, 1974. – 713 с.

**Проблемы в создании супрамолекулярных систем технологических жидкостей для регулируемого управления их свойствами**

**Щербакова К.О.\* (МГРИ, [sherbakovak@mgri.ru](mailto:sherbakovak@mgri.ru)), Соловьев Н.В. (МГРИ, [solovyevnv@mgri.ru](mailto:solovyevnv@mgri.ru))**

**Аннотация**

Полимеры — это химические соединения, молекулы которых связаны в длинные повторяющиеся цепи. Благодаря своей структуре полимеры обладают уникальными свойствами, которые можно адаптировать для различных целей. Полимеры являются как искусственными, так и естественными. Широкое применение полимеры получили в отрасли бурения скважин.

**Ключевые слова**

Полимеры, супрамолекулярные системы, бурение, синергия веществ

**Теория**

На сегодняшний день рынок химических реагентов как зарубежных, так и отечественных предлагает широкий список полимерных реагентов, природа которых, а также их свойства полностью не изучены. Исходя из этого производители буровых работ применяют большое количество полимерных реагентов в составе рекомендуемых рецептур таких растворов (рисунок 1).

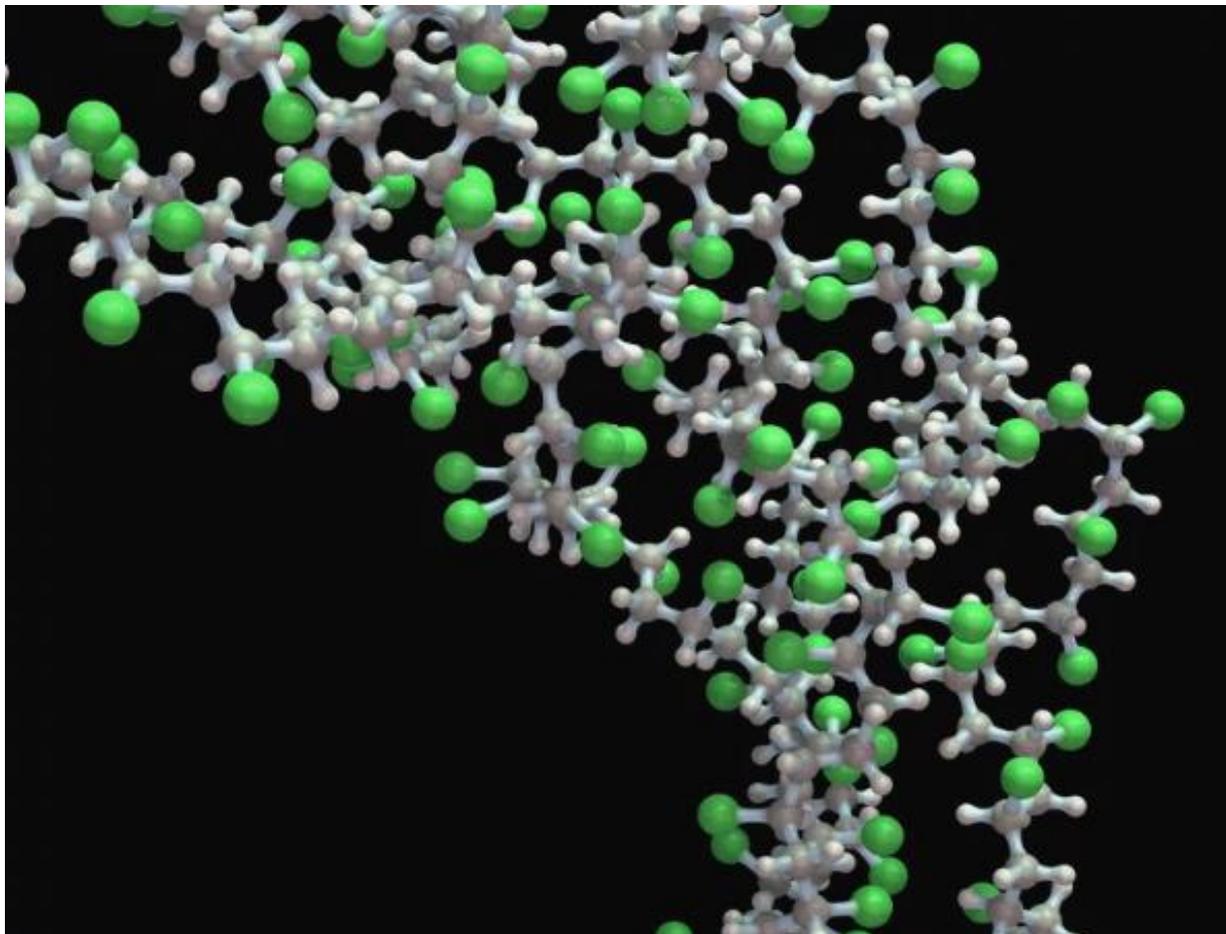
При формировании таких рецептур не учитывается химическое строение макромолекул полимерных реагентов, их взаимное влияние на эффективность действия каждого из них при взаимодействии компонентов бурового раствора и их влияние на слагаемые элементы технологических функций с учетом состава и свойств буримых горных пород.

Исходя из этих задач нами были проанализированы наиболее широко применяемые в практике бурения скважин полимерные химические реагенты, которые составляют основу полимерных буровых растворов. Полимеры используются в буровых растворах с 30х годов 20 века, когда в качестве средства для снижения водоотдачи стали применять крахмал. С тех пор полимеры все более совершенствовались, а спектры их применения значительно расширился. Сегодня полимеры – составная часть практически всех буровых растворов на водной основе. Некоторые виды растворов полностью зависят от полимеров, поэтому такие растворы часто называются «полимерными».

В настоящее время существует огромное разнообразие полимеров. Неограниченный потенциал полимеров делает их применимыми практически для любых задач, которые призваны решать буровые растворы. Вооруженные полимерные технологии, разработчики могут анализировать ситуацию на молекулярном уровне и конструировать полимеры с заранее заданными свойствами для решения тех или иных задач. Поэтому у полимеров большое будущее в индустрии буровых растворов. Ввиду того, что на сегодняшний день процесс бурения проходит на месторождениях, обусловленных сложным геологическим строением, весьма актуальной задачей является применение новых подходов для решения возникающих проблем, таких как обводнение скважины, неустойчивые стенки скважин, поглощение бурового раствора и

проникновение флюида из пласта в скважину в процессе бурения скважины, а также увеличение нефтеотдачи в нефтедобывающей скважине. Для решения данных осложнений особую актуальность получили так называемые «умные» полимерные гели.

*Рисунок 1. Молекулы полимеров*



В основу разработки супрамолекулярных полимерных систем буровых растворов нами получены основные закономерности формирования таких систем [1]. При нахождении в водном растворе нескольких полимерных веществ они создают полиассоциации комплементарных молекулярных компонентов, связанных с помощью нековалентных взаимодействий – то есть межмолекулярных взаимодействий. Обратимая природа таких супрамолекулярных агрегатов позволяет создать системы полимерных растворов, которые могут изменять свои свойства и осуществлять взаимодействие с окружающей средой в зависимости от параметров внешнего воздействия. Объектами таких исследований являются супрамолекулярные ансамбли, состоящие из имеющих геометрическое и химическое соответствие фрагментов таких систем. Эти системы обладают способностью к самопроизвольной сборке сложных пространственных систем полимерных буровых растворов.

В задачи наших исследований входит изучение закономерностей формирования супрамолекулярных полимерных систем буровых растворов, которые позволяют определить химические свойства, строение макромолекул и основные функциональные

группы полимерных реагентов, которые входят в состав супрамолекулярных систем буровых растворов и целенаправленно управляют их технологическими свойствами.

## **Выводы**

Установление закономерности самоорганизации супрамолекулярных полимерных буровых растворов позволит получить главенствующие параметры механизмы мембранообразования (ММО) при взаимодействии их с глиносодержащими горными породами [2]. Основные задачи при изучении ММО:

- Изучение химического состава вмещающих глиносодержащих горных пород;
- Оценка влияния химического строения полимерных реагентов в составе супрамолекулярных систем буровых растворов на эффективность взаимодействия с кристаллическими слоями глиносодержащих горных пород;
- Определить основные параметры регулирования механизмов взаимодействия молекул воды с кристаллическими слоями глин и функциональными группами полимерных реагентов в составе буровых растворов;
- Разработать рекомендацию по управлению процессом ингибирования глиносодержащих горных пород на основе полученных закономерностей формирования механизма мембранообразования.

## **Библиография**

1. Гайдаров М.М-Р. Норов А.Д.- Устойчивость глинистых пород при бурении скважин // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и море. – 2013.-№7.-С.20-30.
2. Лен Ж. – М. Супрамолекулярная химия. Концепции и перспективы. Наука. Сибирское предприятие РАН. Новосибирск. 1998г.
3. Соловьев Н.В.; Степанов К.В. Мембранообразующая способность полимерных промывочных жидкостей при набухании глиносодержащих горных пород. Горный информационно-аналитический бюллетень. – М. №10. 2007.
4. Соловьев Н.В. Обоснование основных параметров механизма мембранообразования в глиносодержащих горных породах при бурении с использованием полимерных растворов / Соловьев Н.В. // Инженер-нефтяник. – 2018. -№1. -С.20-24.

СЕКЦИЯ «МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАЗВЕДочНАЯ ГЕОФИЗИКА»

*Инверсия 3D полевых данных геоэлектрики аппроксимационным нейросетевым методом*

*Родионов Е.А.\* (МГРИ, evgeny\_980@list.ru), Шимелевич М.И. (МГРИ, shimelevich-m@yandex.ru), Оборнев И.Е.\* (НИИЯФ МГУ, МГРИ, obornevie@mgri.ru), Оборнев Е.А. (МГРИ, obornevea@mail.ru), Фельдман И.С. (ООО ЕМГео, mail@emgeo.com)*

**Аннотация**

В работе представлен пример применения аппроксимационного нейросетевого алгоритма решения обратной задачи геоэлектрики, связанной с восстановлением распределения удельного сопротивления в классе кусочно-постоянных 3D-моделей геологических сред. Данная задача сводится к нелинейному операторному уравнению I рода [Тихонов, Арсенин, 1979, Лаврентьев и др. 1980]. Предложенный авторами алгоритм [Шимелевич и др., 2018] основан на построении приближенного обратного оператора задачи с помощью нейронных (колмогоровских) сетей типа многослойного персептрона, что позволяет формализовано получать решения данной обратной задачи с общим числом искомых параметров среды порядка  $\sim n 10^3$  в режиме реального времени. Работа алгоритма иллюстрируется на примере 3D инверсии полевых данных, полученных методом магнитотеллурических зондирований (МТЗ).

**Ключевые слова**

Геофизика, геоэлектрика, 3D обратная задача, аппроксимация, нейронные сети, натурные данные.

**Источники финансирования**

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 19-11-00333).

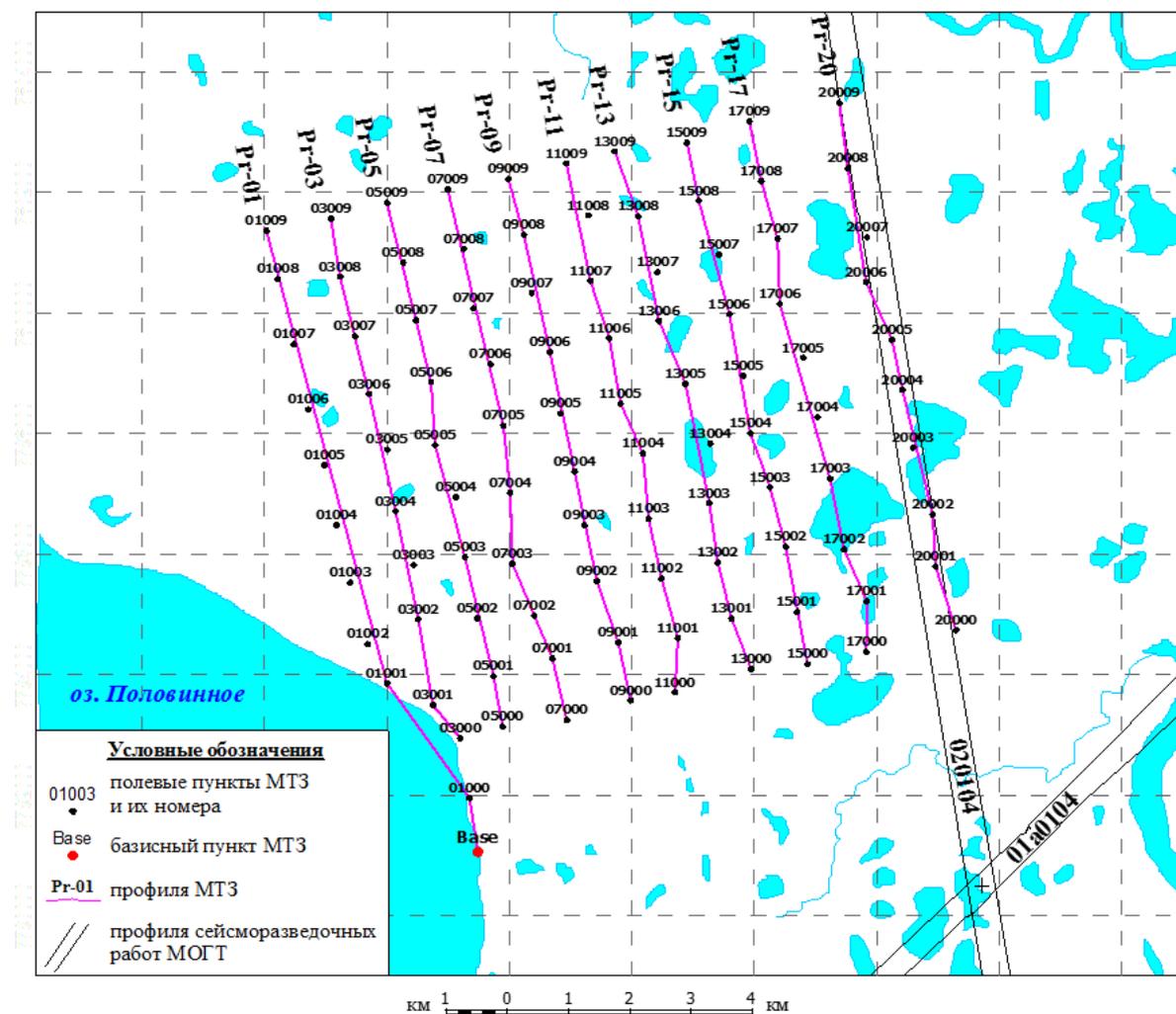
**Исходные данные**

Исследуется участок Северо-Пясинской площади (см. рис. 1) размером 9500x10000м, который является частью региональной съемки Енисей-Хатангского прогиба. Исходные данные МТЗ после первичной обработки были любезно предоставлены главным геофизиком ООО ЕМГео к.г.м.н. И.С. Фельдманом. Участок съемки состоит из 10 профилей, расстояние между которыми примерно по 500 м, расстояние между пикетами на профилях также примерно 500 м.

При создании класса геоэлектрических сред (модельного «банка решений» по терминологии В.И. Дмитриева [Дмитриев, 2012, стр.51]) в аномальной (варьируемой) области была использована пятислойная блочная модель среды с мощностями слоев 50, 80, 250, 750 и 2000 м (рис.2). Пространственная XY-сетка по горизонтали составила 500x500 м. Детальность блоков первого слоя по горизонтали является максимальной, таким образом, в первом слое число неизвестных параметров равно 900. Размеры блоков второго, третьего и четвертого слоев по горизонтали 1500x1500 м, общее число неизвестных параметров равно 300. Размеры блоков пятого слоя по горизонтали 6000x6000 м и число неизвестных параметров равно 25. Вмещающая среда (так

называемые «боксы», необходимые для выполнения граничных условий при численном решении прямой задачи [Дмитриев, 2012]) задавалась двумя значениями удельного сопротивления: одно по бокам и одно в нижнем полупространстве аномальной области. В результате, общая размерность класса рассматриваемой обратной задачи составила 1227 искомых параметров.

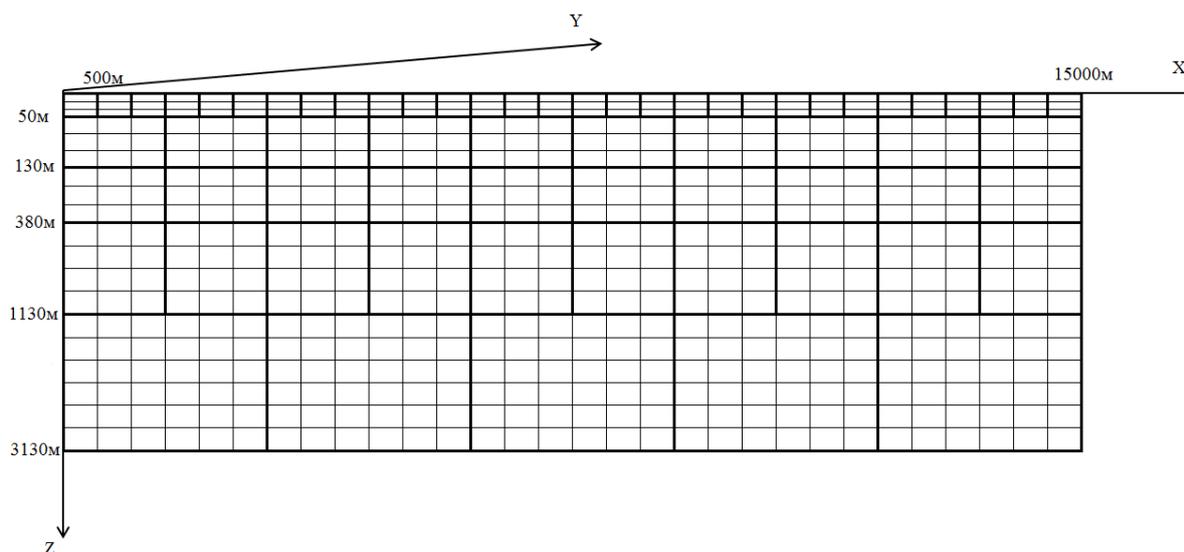
При построении модельного класса сред использовались суперкомпьютерные кластеры и параллельные технологии.



Проекция Гаусса-Крюгера. Осевой меридиан 87°00' E.

**Рисунок 1.** Схема профилей Северо-Пясинской площади.

В качестве входной информации (на входном слое нейросетевого перцептрона) при обучении подавались действительные и мнимые части четырех компонент тензора импеданса ( $Z_{xx}$ ,  $Z_{xy}$ ,  $Z_{yx}$ ,  $Z_{yy}$ ) и двух компонент типпера (вектора Визе-Паркинсона,  $W_{zx}$ ,  $W_{zy}$ ) на 14 периодах (0.001 с – 21.5 с) на пространственной XY-сетке 500x500 м.



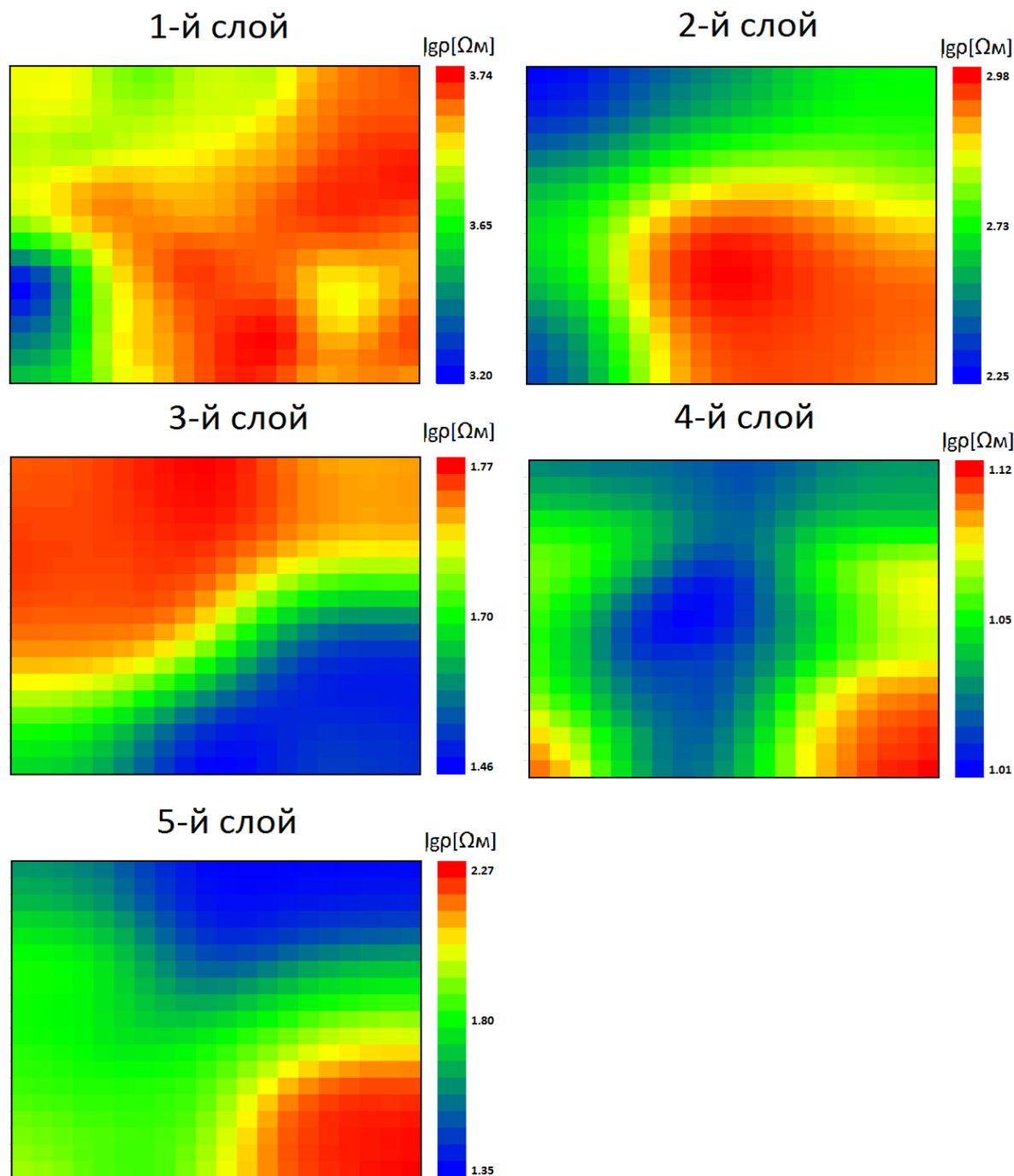
**Рисунок 2.** Вертикальный разрез класса сред.

С помощью формализованного нейросетевого подхода [Шимелевич и др., 2020] авторами было получено первое приближение геоэлектрического разреза Северо-Пясинской площади, которое, затем, многократно уточнялось методами Монте-Карло и к-средних. После каждого уточнения трехмерного разреза считалась невязка синтеза.

В результате итераций, невязка спадает с 18.7% на первом приближении до 8.84% на последней (6-й) итерации. Графики синтезированных полей, полученных на последней итерации, хорошо согласуются с исходными полями.

На рис. 3 представлен итоговый результат нейросетевой инверсии полевых данных для исследуемого участка.

Полученные результаты показывают, что хорошо проводящая структура, перекрытая 50 метровой толщей плохо проводящих пород, имеет северо-западное юго-восточное падение с глубин от 50 до 380 метров. На четвертом ярусе она прослеживается как симметричный объект мощностью порядка 750 метров, который далее опускается в северном направлении до глубин 3500 метров. Верхняя высокоомная часть соответствует песчаниковым отложениям, ниже которых расположены более низкоомные глинистые образования.



**Рисунок 3.** Распределение удельного сопротивления горизонтальных сечений среды через глубинные отметки 50, 80, 250, 750 и 2000 м, полученное в результате НС-инверсии полевых данных МТЗ Северо-Пясинской площади.

## Выводы

Получены первые удовлетворительные результаты 3D инверсии натуральных данных с числом параметров порядка  $n 10^3$ . Построенный НС-аппроксиматор может быть многократно применён к подобным площадным зондированиям (аналогично использованию электронных палеток) с получением результатов инверсии в режиме реального времени.

Работа выполнена с использованием вычислительных ресурсов Межведомственного суперкомпьютерного центра Российской академии наук (МСЦ РАН) и с использованием оборудования Центра коллективного пользования сверхвысокопроизводительными вычислительными ресурсами МГУ имени М.В. Ломоносова.

### **Библиография**

1. Дмитриев В. И. Обратные задачи геофизики. МГУ ВМК. - Москва : МАКС Пресс, 2012. 340 с.
2. Лаврентьев М.М., Романов В.Г., Шишатский С.П. Некорректные задачи математической физики и анализа. М.: Наука, 1980. 286 с.
3. Оборнев Е.А., Оборнев И.Е., Родионов Е.А., Шимелевич М.И. Применение нейронных сетей в нелинейных обратных задачах геофизики // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2020. Т. 60, № 6. С. 1053–1065.
4. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1979. 288 с.
5. Шимелевич М.И., Оборнев Е.А., Оборнев И.Е., Родионов Е.А. Алгоритм решения обратной задачи геоэлектрики на основе нейросетевой аппроксимации // Сиб. журн. вычисл. матем., 2018. 21:4. С. 451–468.

**Методика работ и поисковые признаки золотого оруденения**  
**Апарин А.Д.\* (Российский государственный геологоразведочный университет**  
**имени Серго Орджоникидзе, [aparin\\_ad@mail.ru](mailto:aparin_ad@mail.ru)), Иванов А.А. (Российский**  
**государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе,**  
**[ivanovaa@mgri.ru](mailto:ivanovaa@mgri.ru))**

### **Аннотация**

Применение космической съемки высокого разрешения в совокупности с геофизическими данными позволит в масштабе 1:10 000 – 1:5 000 наметить золотоперспективные участки, приуроченные к прибортовой и центральной частям вулcano-тектонических депрессий, золотоперспективные участки характеризуются повышенной плотностью линеаментов и связаны со становлением субвулканических интрузий верхнемелового возраста. Космическая съемка высокого разрешения может эффективно применяться для исследования береговой линии на наличие прибрежных и морских россыпей.

### **Ключевые слова**

Космическая съемка, космические снимки, золотое оруденение, геофизика, геология.

### **Теория**

Компьютерная обработка космических снимков (фильтры, трансформации, синтез), позволяет оптимизировать прогнозно-поисковые работы на золотое оруденение. Применение компьютерной обработки космических данных включает несколько последовательно выполняемых этапов. На первом этапе каждому геолого-промышленному типу оруденения подбирается своя система прогнозно-поисковых признаков. К точечным признакам относятся месторождения, рудопроявления, рудные точки; к линейным и площадным – разрывные нарушения, дайки, стратиграфические горизонты, магматические тела, зоны метасоматических изменений и т.п. Поисковые признаки могут и не являться геологическими объектами. Например, в качестве поисковых признаков могут выступать значения  $\Delta T_a$  магнитного поля или запасы месторождений в том случае, если месторождения рассматриваются в качестве поисковых признаков точечного класса. Кроме геолого-структурных элементов дешифрирование космических снимков ориентировано на выявление таких поисковых признаков золотого оруденения как участки пиритизации, зоны окварцевания и т.п.

На втором этапе осуществляется ранжирование выбранной системы поисковых признаков в зависимости от площади исследуемой территории: металлогеническая провинция, металлогеническая зона, рудное поле, перспективный участок (потенциальное месторождение); при этом каждому уровню генерализации соответствует своя система поисковых признаков. Отдельные признаки имеют «сквозной» характер, т.е. относятся к нескольким уровням.

На следующем этапе формируется последовательность компьютерных процедур, позволяющая по исходному космическому фотоизображению земной поверхности создать компьютерный образ (фоторобот) того или иного поискового признака. Фоторобот, полученный в результате обработки снимка, по морфологии рисунка должен

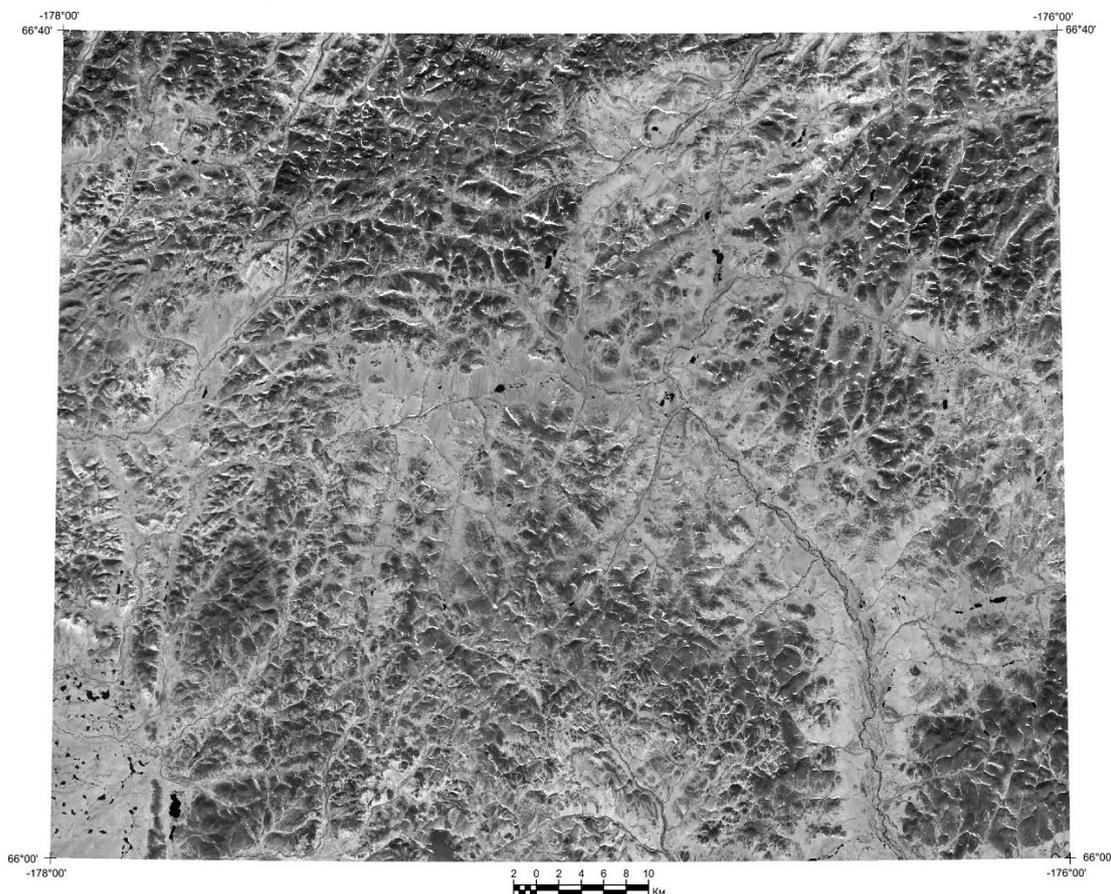
как можно точнее соответствовать образу поискового признака на карте. Для оценки эффективности результатов дешифрирования применяется аппарат регрессионного, дискриминантного и других видов статистического анализа.

Полигенная природа многих золоторудных объектов предопределила комплексный подход к подбору системы поисковых признаков оруденения на исследуемой территории. В основу были положены прогнозно-поисковые комплексы, разработанные ЦНИГРИ для месторождений золота различных геолого-промышленных типов [1, 2, 3]. В качестве поисковых признаков золоторудных полей и месторождений рассматриваются локальные вулканические сооружения, поля субвулканических даек, корневые части вулканических аппаратов; перекрытые и погребенные рудоносные вулканические постройки, локальные выступы и прогибы основания вулканического яруса; системы крутопадающих разломов, ограничивающих и осложняющих наложенные грабены; системы надвигов, пологих зон дробления, осложняющих наложенные впадины и купола; поля аргиллизитов и пропилитов, сопровождающихся окварцеванием; зоны калиевого метасоматоза; области разуплотнения земной коры и элементы осложнения локальных гравитационных минимумов; высокоградиентные области магнитного поля; площади аномально повышенных концентраций Au, Ag, Hg, Pb, Zn, Cu в донных осадках и водотоках; концентрации элементов-спутников в электромагнитной фракции шлихов; газортутные ореолы; золотоносные метасоматиты лиственит-березитовой формации; сульфидно-кварцевые жилы с повышенной золотоносностью и другие признаки.

Методические приемы прогнозирования оруденения на основе дистанционных методов включают применение космических данных для дешифрирования структурных элементов (линеаментов), контролирующих пространственное расположение эталонных месторождений и рудопроявлений золота, а также рудовмещающих гидротермально-метасоматических пород в различных спектральных каналах многозональной съемки. Радиолокационная съемка, чувствительная к неоднородностям рельефа и влагонасыщенности почво-грунтов, может быть эффективно использована также при дешифрировании мелких разрывных нарушений и зон трещиноватости, которые могут являться потенциально рудовмещающими структурами. Данные дистанционных гравимагнитных методов используются при выявлении статистически значимых различий между значениями  $\Delta g$  и  $\Delta Ta$  рудоносных метасоматитов и вмещающих их «пустых» пород.

База данных включает электронные версии результатов космической съемки, геологических, геофизических и топографических карт на всю площадь работ. База данных многозональной космической съемки включает данные зондирования в спектральных каналах PAN-панхром: 0.50-0.68 мкм с разрешением на местности 15 м, VNIR: 0.45-0.515; 0.525-0.605; 0.63-0.690; 0.75-0.90 мкм с разрешением на местности 30 м, SWIR: 1.55-1.75; 2.09-2.35 мкм с разрешением на местности 30 м, TIR: 10.40-12.5 мкм с разрешением на местности 100 м (рисунок 1). Радарная съемка в режимах передачи-приема сигнала VV, VH, в диапазоне C (5.6 см) с разрешением на местности 10 м. Разрешение на местности данных видов съемки позволяет проводить анализ космической информации в масштабе 1:200 000 – 1:50 000. Съемка высокого разрешения в панхроматическом и мультиспектральном режимах: 0.45-0.52 мкм, 0.52-0.60 мкм, 0.61-0.68 мкм, 0.72-0.80 мкм, с разрешением на местности 3 м, и панхроматическом: 0.58-0.80 мкм, с разрешением на местности 1 м, позволяет проводить анализ космической информации в масштабе 1:10 000 – 1:5 000.

База данных геологической съемки включает карты дочетвертичных образований, полезных ископаемых, четвертичных отложений и объяснительные записки к ним. Карты представлены в масштабах 1:1 000 000 и 1:200 000. База данных топографической съемки включает карты в масштабе 1:1 000 000 и 1:200 000. База данных геофизической съемки включает гравиметрические и магнитометрические карты в масштабах 1:1 000 000 и 1:200 000. Результаты гравиметрической съемки представлены в аномалиях силы тяжести с редукцией Буге 2.3 г/см<sup>3</sup>. Для удобства работы с результатами космической съемки, геологическими картам и результатами интерпретации космогеологических данных перечисленные материалы подготовлены для работы в среде ArcGIS, которая содержит растровую и векторную информацию. Векторная информация в ArcGIS представлена структурно-тектонической схемой масштаба 1:200 000, на которой отображены результаты космодешифрирования структур по всей площади работ и структурно-тектоническими схемами рудоперспективных участков в масштабе 1:50 000 и 1:10 000.



*Рисунок 1. Пример многозональной космической съемки Landsat 7. Канал 4.*

## Выводы

Применение космической съемки высокого разрешения в совокупности с геофизическими данными позволит в масштабе 1:10 000 – 1:5 000 наметить золотоперспективные участки для постановки наземных заверочных работ.

## **Библиография**

1. Константинов М.М., Берзон Р.О., Ваганов В.И., Макеев Б.В. Нетрадиционные типы месторождений благородных, редких металлов и алмазов, методика их прогноза и поисков. Аналитический обзор. -М.: ЦНИГРИ, Научно-технический кооператив «Геоэксперт», 1991.
2. Лоренц Д.А. Особенности вещественного состава золото-кварцевых и золото-сульфидно-кварцевых проявлений, локализованных в пределах мезозойских вулканоплутонических поясов Чукотки, их использование в качестве критериев поиска и оценки золотого оруденения на примере золоторудных объектов Кувет-Рывеевской и Золотогорской металлогенических зон // Научно-методические основы прогноза, поисков, оценки месторождений алмазов, благородных и цветных металлов. Сборник тезисов докладов IX Международной научно-практической конференции (17-19 апреля 2019 г., Москва, ФГБУ «ЦНИГРИ»). М.: ЦНИГРИ. 2019. С. 115-116.
3. Прогнозно-поисковые комплексы. Вып. 3. Комплексование работ по прогнозу и поискам золото-серебряных месторождений в вулканогенных поясах. -М, ЦНИГРИ, 1983.

**Оценка скорости деструкции нефтяного пятна на водной поверхности для некоторых деструктивных факторов на математической модели**  
**Афанасьева Н.О.\* (МГРИ, [afanasievan@mgri.ru](mailto:afanasievan@mgri.ru)), Морочко А.Ф. (МГРИ, [morochkoaf@mgri.ru](mailto:morochkoaf@mgri.ru))**

### Аннотация

В работе рассмотрена математическая модель процесса распространения нефти в водной среде с учетом деструкции. Модель представлена в виде нелинейного дифференциального уравнения в частных производных параболического типа. По модели проведены численные расчеты в пакете Matlab для различных деструктивных факторов – бактериального разложения, сорбирования, диспергирования. Данные для модели взяты из источников с экспериментальной составляющей.

### Ключевые слова

Математическая модель, разлив нефти, диффузия, сорбент, загрязнение водной среды, бактериальное разложение.

### Теория

Оценка скорости деструкции нефтяного пятна на водной поверхности для некоторых деструктивных факторов на математической модели

Ежегодно в России добывается около 300 млн тонн нефти, из которых при добыче и транспортировке теряется как минимум 4,5 млн тонн. При сегодняшних масштабах добычи нефти происходит постоянное загрязнение окружающей среды.

В зависимости от степени загрязнения углеводородами и его продолжительности, места загрязнения и масштаба угрозы, требуются разные меры по устранению разливов нефти. Если разлив произошел в открытом море и в небольшом количестве, то экстренных мер по ликвидации аварии не требуется, так как слой нефти разбивается волнами и потом подвергается естественным процессам разложения. Это прежде всего испарение, растворение, окисление, биodeградация и другие. При ликвидации же разливов вблизи берегов приходится прибегать к срочным, экстренным мерам, так как процессов самоочищения водоемов будет недостаточно.

Математическая модель, описывающая изменение концентрации  $Q$  нефтяного пятна с учетом скорости течения и деструкции (для одномерного случая) [1]:

$$\frac{\partial Q(x,t)}{\partial t} = a_2 \frac{\partial^2 Q(x,t)}{\partial x^2} + a_1 \frac{\partial Q(x,t)}{\partial x} + a_0 Q(x,t) , \quad (1)$$

где  $Q(x,t)$  - концентрация загрязнения,  $a_2$  - коэффициент диффузии,  $a_1$  - компонента скорости,  $a_0$  - коэффициент деструкции.

Одним из активно разрабатываемых способов устранения загрязнения нефтяного разлива является бактериальное разложение. Коэффициент деструкции, соответствующий естественному бактериальному разложению, примем равным  $a_0 = -0,004$ , согласно источнику [2].

Решим уравнение (1) численными методами с учетом следующих значений коэффициентов:

$a_0 = -0,004; a_1 = 0,02; a_2 = 0,01$ , с граничными и начальным условиями

$$\frac{\partial Q(1,t)}{\partial x} = 0, \quad Q(0,t) = 0, \quad Q(x,0) = 0,25 \sin \pi x.$$

Будем считать, что задача решена, если максимальное значение концентрации нефти  $Q$  будет меньше заранее заданного числа  $\varepsilon$ :

$$\max(Q(x,t)) \leq \varepsilon.$$

Для решения задачи численными методами разработана программа в пакете Matlab. Результат численного эксперимента для  $\varepsilon = 0,001$  показал, что концентрация нефти достигла значения  $Q(x,t) = 9,5972 \cdot 10^{-4}$  за время 85,8 условных временных единиц. Графически результат представлен на рисунке 1.

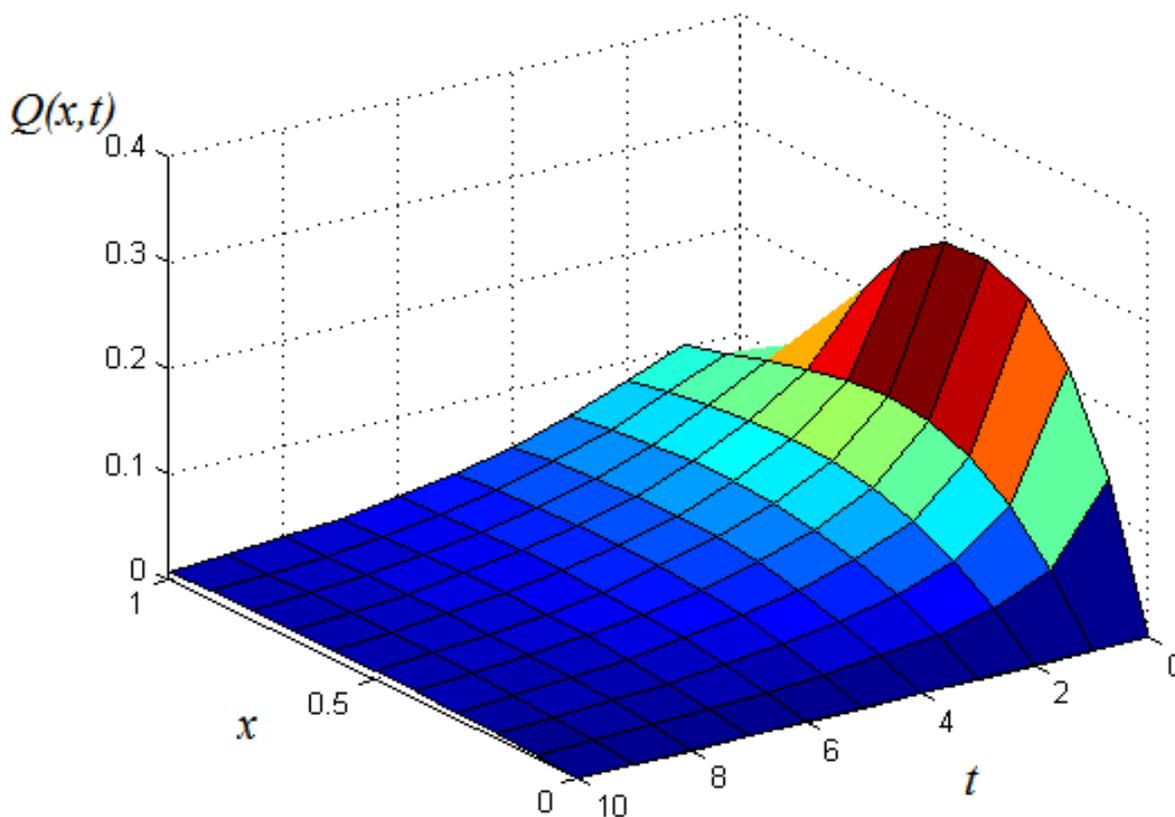


Рисунок 1. Изменение концентрации нефти за время  $t$

Применение диспергаторов – химических веществ, разрывающих пленку нефти на воде, повышает вероятность биологического распада и увеличения скорости диффузии [3]. Плюсом этого метода является то, что, применяя авиацию, можно обрабатывать сразу большие территории.

Скорость деструкции нефти при использовании диспергаторов выше, чем при использовании бактерий. Примем коэффициент деструкции равным  $a_0 = -0,03$ , согласно источнику [2]. Исходными данными для задачи (1) будут:

$$a_0 = -0,03; a_1 = 0,02; a_2 = 0,01,$$

с граничными и начальным условиями:

$$\frac{\partial Q(1,t)}{\partial x} = 0, Q(0,t) = 0, Q(x,0) = 0,25 \sin \pi x.$$

В результате вычислений получим: концентрация нефти достигла значения  $Q(x,t) = 7,0623 \cdot 10^{-4}$  за время 66,0 условных временных единиц.

Широко применяется метод с использованием сорбирующих материалов, ввиду низкой стоимости и простой технологии применения. [4] В качестве сорбентов может быть использован торф, древесные опилки, шерсть, целлюлозосодержащие материалы.

Если применять сорбирование сразу на обширных территориях, то скорость деструкции более высокая, чем у выше рассмотренных методов. Примем коэффициент деструкции равным  $a_0 = -0,7$  согласно источнику [2] и решим задачу (1) с коэффициентами:  $a_0 = -0,7; a_1 = 0,02; a_2 = 0,01$ , с теми же граничными и начальным условиями, как для предыдущих расчетов.

В результате вычислений получим, что для этих исходных данных концентрация нефти достигла значения  $Q(x,t) = 6,9401 \cdot 10^{-4}$  за время 8,8 условных временных единиц.

Полученные результаты вычислений сведены в таблицу 1.

Таблица 1

*Зависимость времени ликвидации загрязнения от вида деструкции*

Вид деструкции	Коэффициент деструкции	Время ликвидации загрязнения	Остаточная концентрация
Бактериальное разложение	-0,004	85,8	$9.5972 \cdot 10^{-4}$
Диспергирование	-0,03	66,0	$7.0623 \cdot 10^{-4}$
Сорбирование	-0,7	8,8	$6.9401 \cdot 10^{-4}$

## Выводы

Согласно результатам расчетов, самым действенным методом является сорбирование, но скорость ликвидации загрязнения при этом методе высока лишь в том случае, если сорбент применять сразу по всей площади загрязнения, что значительно усложняет процесс очистки. Кроме того, используемые сорбенты необходимо немедленно удалять с места загрязнения.

Диспергирование также обладает большой скоростью при условии применения диспергаторов одновременно по всей площади загрязнения.

Бактериальное разложение является самым медленным способом очищения, с учетом естественных ресурсов водоема (бактерии-сапрофиты). Процессом бактериального метода очистки водоема от нефтепродуктов можно управлять, зная параметры роста колоний бактерий в зависимости от условий окружающей среды. Если применять выведенные в лабораториях виды с заданными свойствами, то возможно увеличить скорость очищения.

### **Библиография**

1. Корнев А. А. Математическое моделирование загрязнения углеводородами акваторий морей континентального шельфа. // «Физико-химический анализ свойств многокомпонентных систем», (Электронный научный журнал ГОУ ВПО КубГТУ), 2009. с – 76.
2. Каменщиков Ф.А., Богомольный Е.И. Удаление нефтепродуктов с водной поверхности и грунта / Ижевск: Институт компьютерных исследований 2006. - 528 с.
3. Ризниченко Г.Ю., Рубли А.Б. Математические модели биологических продуктивных процессов. М., 1993
4. Ризниченко Г. Ю. Математические модели в биофизике и экологии – М.: Институт компьютерных исследований, 2003. – 184 с.

*Современные программы автоматической инверсии данных электротомографии*  
*Ашуров А.В. \*(РГГРУ(МГРИ) им. Серго Орджоникидзе, amindzhon.ashurov@mail.ru),*  
*Иванов А.А. (РГГРУ(МГРИ) им. Серго Орджоникидзе, ivanovaa@mgri.ru)*

## Аннотация

В статье речь идет о современных программах автоматической инверсии данных электротомографии.

Также разбираются вопросы, какие алгоритмы инверсии используются, способы визуализации результатов. Дается краткое описание методу электротомографии.

## Ключевые слова

Электротомография, инверсия данных, алгоритмы инверсии, современные программы

## Теория

*Электротомография* — это современное направление методов сопротивлений и вызванной поляризации, предназначенное для получения двумерных и трехмерных геоэлектрических разрезов из измерений, полученных на поверхности земли или в скважинах. Измеренными характеристиками могут служить как кажущееся сопротивление, так и отношение сигнала к току и кажущаяся поляризуемость. Ее особенностью является многократное использование в качестве питающих и измерительных одних и тех же фиксированных на профиле наблюдений положений электродов. Это приводит к уменьшению общего числа рабочих положений электродов при существенном увеличении плотности измерений по сравнению с обычным методом вертикальных электрических зондирований. Такой подход позволяет с одной стороны, работать с современной высокопроизводительной аппаратурой, а с другой стороны, применять эффективные алгоритмы моделирования и инверсии. Интерпретацию данных электротомографии проводят в рамках двумерных и трехмерных моделей. Это принципиально расширяет круг решаемых электроразведкой задач, за счет исследования сред, значительно отличающихся от «классических» горизонтально-слоистых (Бобачев и др., 2006).

Программа *ZondRes2d* предназначена для двумерной интерпретации данных электротомографии методом сопротивлений и вызванной поляризации в наземном, скважинном и акваторном вариантах. Программа *ZondRes2D* принадлежит семейству программ *Zond*. Унифицированный интерфейс и единый подход к обработке данных позволяют с легкостью освоить работу с программами всего пакета, если имеются навыки работы с одной из программ. Такой подход позволяет интерпретаторам инструментально комплексировать геофизические данные различных методов, что приводит к более устойчивой и достоверной геолого-геофизической модели. *ZondRes2d* представляет собой готовое решение для электрической томографии, и решает широкий спектр задач от математического моделирования, выбора системы наблюдений, анализа качества данных и чувствительности, до обработки, инверсии и интерпретации полевых данных. Удобный интерфейс и широкие возможности представления данных позволяют максимально эффективно решить поставленную геологическую задачу. Система анализа качества данных электрической томографии позволяет быстро и эффективно выявлять проблемные измерения в автоматическом и полуавтоматическом режимах. *ZondRes2d*

использует простой и понятный формат данных, позволяющий легко совмещать различные электроразведочные системы наблюдений, включающий различные варианты задания рельефа (в том числе рельефа дна для донны и акваторной электротомографии) и другой вспомогательной информации. *ZondRes2d* обладает большим набором средств для математического моделирования и анализа чувствительности полей постоянного тока и вызванной поляризации, что позволяет оценить уровень сигнала и осуществить выбор оптимальных параметров установки для решения поставленной геологической задачи. В *ZondRes2d* имеется возможность назначения весов измерениям, закрепления и задания пределов изменения свойств отдельных ячеек, использования априорной модели, как опорной при инверсии. Кроме этого, в программе реализованы робастные схемы оценки шумовой составляющей. Также имеется возможность импортировать и отображать результаты измерений другими методами и скважинных данных, что способствует более комплексному подходу к интерпретации данных.

*Возможности программы:*

*Типы поддерживаемых данных и подготовка к инверсии*

- Поддержка любых типов электроразведочных установок или их комбинаций с произвольной системой разносов и положениями электродов
- Измерения в водном слое и на дне водоема
- Скважинные и межскважинные наблюдения
- Задание трех координат для каждого из электродов и учет произвольной геометрии профилей
- Множество опций задания и редактирования данных топографии
- Блок контроля качества и отбраковки данных электротомографии

*Математическое моделирование и инверсия данных*

- Варианты инверсии: гладкая, фокусирующая, робастная, блоковая
- Режимы построения модели при решении прямой и обратной задачи: сеточный, блочный, полигональный, произвольно слоистая модель
- Инверсия данных ВП, как по стандартной схеме, так и во временной или частотной области с восстановлением параметров Cole-Cole
- Полноволновая инверсия параметров ВП
- Инверсия данных геоэлектрического мониторинга
- Совместная инверсия с магнитотеллурическими данными
- Совместная инверсия с данными зондирования становлением поля в ближней зоне (ЗСБ) и частотных зондирований (ЧЗ)
- Совместная инверсия с данными сейсморазведки, полученными методом преломленных волн (МПВ)
- Инверсия данных гравитационных и магнитных измерений, в том числе совместная с данными ЭТ
- Комплексное полигональное моделирование для магниторазведки гравиразведки и метода естественного поля (ЕП)
- Задание стартовой модели и закрепление пределов изменения параметров
- Внедрение при инверсии нескольких априорных геологических границ
- Подавление Р/С эффектов при инверсии
- Работа с аномальными установками (метод чистых аномалий)

*Работа с геоэлектрическими моделями*

- Работа с несколькими моделями в одном проекте
- Оценка качества решения на основе матрицы чувствительности. Расчет параметра качества получаемого решения, индекса DOI
- D визуализация геоэлектрических разрезов по произвольной системе профилей. Карты срезов различных параметров по глубинам
- Геологический редактор разрезов, система для создания скважинной информации
- Экспорт данных, содержащие элементы зондирования в программу *ZondIP1D* для подбора геоэлектрической модели во варианте 1D
- Конвертирование набора 2D файлов в один файл для подбора 3D геоэлектрической модели в программе *Zondres3d*
- Экспорт в растровые и векторные графические форматы, Excel, Surfer, Autocad, Geosoft.

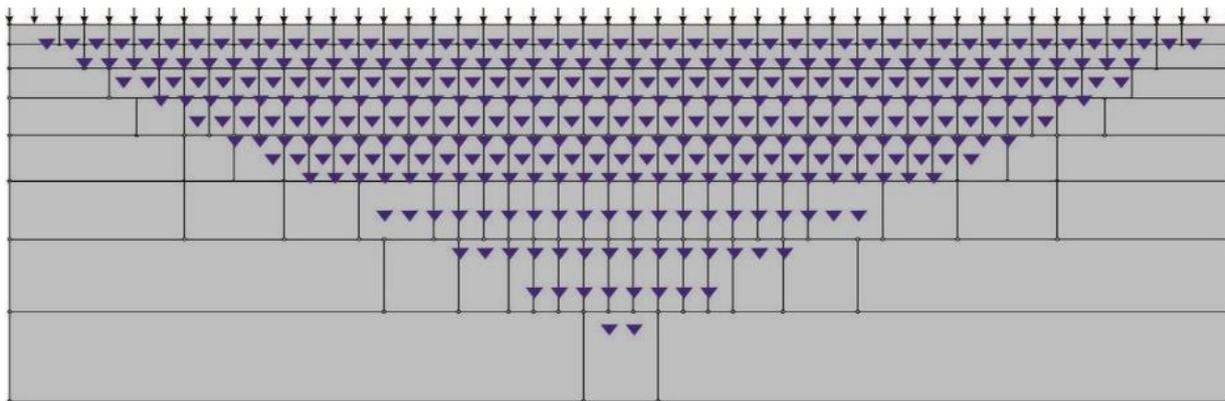
*Основные плюсы:*

- Программа работает с любыми типами установок (двух, трех и четырех- электродные) или их сочетаниями на поверхности земли и воды в скважине или под водой
- Обладает большим набором средств для математического моделирования
- Реализовано несколько вариантов решения обратной задачи.

*Существуют различные алгоритмы инверсии:*

• Smoothness constrained – инверсия по методу наименьших квадратов с использованием сглаживающего оператора. В результате применения этого алгоритма получают гладкое (без резких границ) и устойчивое распределение 14 параметров. • Occam – инверсия по методу наименьших квадратов с использованием сглаживающего оператора и дополнительной минимизацией контрастности (Constable et al., 1987). В результате применения этого алгоритма получают наиболее гладкое распределение параметров. Степень гладкости результирующей модели прямо пропорциональна значению Smoothness factor. • Marquardt – классический алгоритм инверсии по методу наименьших квадратов с регуляризацией дампирующим параметром (Ridge regression) (Marquardt, 1963). При малом количестве параметров разреза, алгоритм позволяет получать контрастную модель среды. • Focused – инверсия по методу наименьших квадратов с использованием сглаживающего оператора и дополнительной фокусировкой контрастности (Portniaguine, Zhdanov, 1999). В результате применения этого алгоритма получают кусочно-гладкое распределение параметров, то есть модель, состоящую из блоков, имеющих постоянное сопротивление. • Blocks – подбор параметров отдельных областей, различающихся по сопротивлению. Области с одинаковым сопротивлением рассматриваются как единые блоки.

Программа *RES2DINV* автоматически находит двумерную (2-D) модель сопротивления среды для данных, полученных с помощью томографических методик (Griffiths, Barker, 1993). Двумерная 2-D модель, используемая программой инверсии, состоит из ряда прямоугольных блоков, как показано на рисунке 1. Расположение блоков слабо связано с распределением точек на псевдоразрезе. Распределение и размер блоков автоматически генерируются программой, так что число блоков обычно не превышает числа точек измерения. Съёмка обычно выполняется с такой системой наблюдений, в которой электроды расположены вдоль линии с постоянным шагом между электродами.



**Рисунок 1.** Расположение блоков, используемых в модели вместе с точками записи на псевдоразрезе.

Подпрограмма прямой задачи используется для расчета значений кажущегося сопротивления, а метод нелинейной оптимизации на основе наименьших квадратов используется для осуществления инверсии (Constable et al., 1987; Loke, Barker, 1996). Программа может работать как с методом конечных разностей, так и конечных элементов для расчета прямой задачи. Эта программа может использоваться для наблюдений с установками Веннера, двухэлектродной, дипольной осевой, трехэлектродной, Веннера - Шлюмберже и дипольной экваториальной. В дополнение к обычным, программа поддерживает и нестандартные установки, с почти неограниченным числом возможных расположений электродов. Процедура инверсии, используемая программой основана на smoothness-constrained (с ограничениями гладкости) методе наименьших квадратов (Constable et al., 1987, Sasaki, 1992). Может быть также использована новая реализация метода наименьших квадратов, основанная на квази-Ньютоновском методе оптимизации (Loke, Barker, 1996). Цель работы программы состоит в определении сопротивлений прямоугольных блоков, дающих псевдоразрез кажущихся сопротивлений, совпадающий с практическими измерениями. Программа имеет набор предопределенных установок для факторов затухания и других переменных, которые обычно дают удовлетворительные результаты для 16 большинства наборов данных. Однако в некоторых ситуациях модификация параметров инверсии позволяет получить лучшие результаты.

## Выводы

С началом использования электроразведочной аппаратуры, реализующей плотные томографические измерения, возникла необходимость в соответствующих программных системах для моделирования и инверсии данных электротомографии. К настоящему времени насчитывается множество программ, специализированных для моделирования и инверсии данных электротомографии. Это такие как: Res2DInv, Res3DInv - первое и наиболее популярное ПО для 2D и 3D инверсии данных ЭТМ разработчиком является Geotomo Software (Малайзия); SensInv2D – разработчик Geotomographie GmbH (Германия); DC2DInvRes – разработчик Thomas Günther (Германия); ZondRes2d – разработчик Александр Каминский (Россия); Earth Imager 2D, и др. Наиболее распространенной программой инверсии является программа “Res2dInv” (Geotomo, Малайзия). Отметим также российскую разработку – “ZondRes2D”. Эти две программы и были разобраны в этой статье.

## **Библиография**

1. Бобачев А. А., Горбунов А.А., Модин И.Н., Шевнин В.А. Электротомография методом сопротивлений и вызванной поляризации. Приборы и системы разведочной геофизики. 2006, N02, 14-17
2. Constable S.C., Parker R.L., Constable C.G. 1987. Occam's inversion: a practical algorithm for generating smooth models from electromagnetic sounding data. Geophysics, 52, 289-300.
3. Griffiths D.H. and Barker R.D. 1993, Two-dimensional resistivity imaging and modelling in areas of complex geology. Journal of Applied Geophysics, 29, 211-226.
4. Loke, M.H. and Barker, R.D., 1996, Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method. Geophysical Prospecting, 44, 131-152.
5. Marquardt, D.W., 1963, An algorithm for least squares estimation of nonlinear parameters: J. Soc. Indust. Appl. Math. 11, 431-441.
6. Portniaguine O.N., Zhdanov M.S. Focusing geophysical inversion images // Geophysics. 1999. V. 64. P. 874–887.
7. Sasaki, Y., 1992, Resolution of resistivity tomography inferred from numerical simulation. Geophysical Prospecting, 40, 453-464.

**Интерпретация данных зондирования становлением поля в ближней зоне (метод ЗСБ) при поисках подземных вод в Оазисе Эль-Бахария, Западная Пустыня, Египет**  
**Гавеиш В. Р.\* (Национальный исследовательский институт астрономии и геофизики (NRIAG), г. Каир, Египет, wael\_ragab2007@yahoo.com)**  
**Мараев И.А. (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (РГГРУ), г. Москва, Россия, igorech@rambler.ru)**

## Аннотация

Район исследования расположен в окрестностях деревни Мандиша в северной части оазиса Эль-Бахария в Западной пустыни Египта. Он страдает от нехватки поверхностных вод, поэтому необходимо искать другой источник воды как неглубокие подземные воды в исследуемом районе. восемнадцать точек ЗСБ выполнено для определения лучших мест для бурения водозаборных скважин в зонах (А, Б и В) в исследуемой территории. Результаты интерпретации данных ЗСБ показали, что Зона А залегает в интервале глубин от 8 м до 14 м, Зона Б – от 98 м до 124 м, и Зона В – от 188 м до 234 м. Лучшее место для бурения водозаборной скважины в зоне А на исследуемом участке, по результатам данным ЗСБ находится недалеко от ЗСБ № 13, 17 и 18; а, в зоне Б находится недалеко от ЗСБ № 1, 13 и 17; а, в зоне В находится недалеко от ЗСБ № 5 и 13.

## Ключевые слова

ЗСБ, подземные воды, Оазис Эль-Бахария, Египет.

## Теория

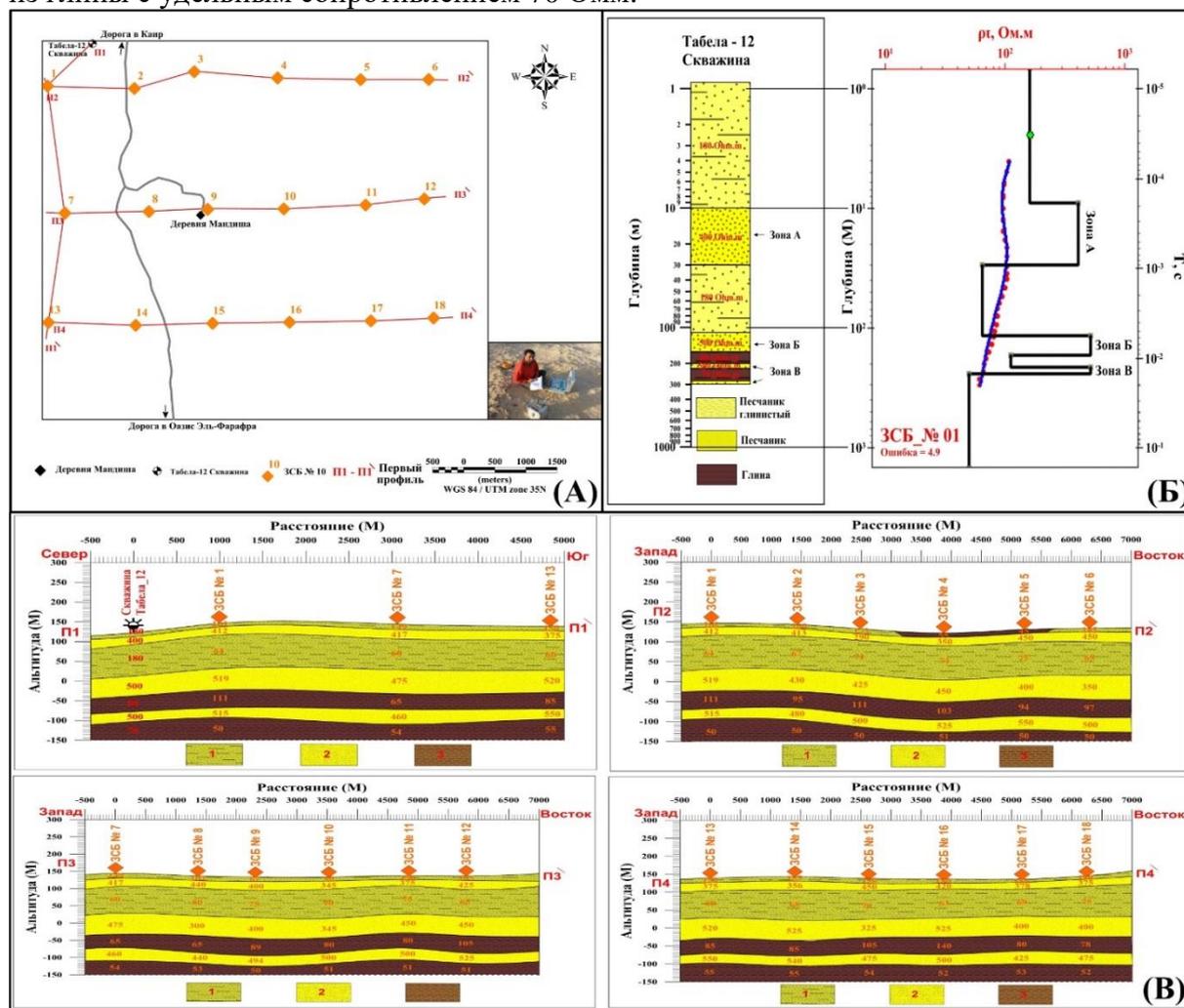
Зондирования становлением поля в ближней зоне (Метод ЗСБ) основан на изучении электромагнитного поля, устанавливающегося в земной коре при резком изменении тока в источнике. Выключение тока в генераторной петле вызывает появление индукционных токов, которые распространяются от дневной поверхности на глубину [1, 2]. Восемнадцать точек ЗСБ выполнено в исследуемом районе для определения лучших мест для бурения неглубоких водозаборных скважин.

## Сбор данных метода ЗСБ

Основной водоносный горизонт в исследуемом районе расположен в нубийском песчанике, который датируется сеноманом и состоит из песчаника от мелкого до грубого с прослоями глины. Водоносный горизонт Нубийского песчаника в оазисе Эль-Бахария подразделяется на 5 зон (А, Б, В, Г и Д). Зоны А, Б и В, - залегают на глубине менее 300 метров, а зоны Г и Д залегают на глубине более 300 метров [3, 4, 5]. В настоящем исследовании; результаты интерпретации данных метода ЗСБ были использованы для построение карт глубины, толщины и удельного сопротивления подземных водоносных горизонтов в зонах А, Б и В и определение лучшего места для бурения водозаборных скважин в исследуемой территории. Было выполнено восемнадцать точек ЗСБ с использованием Австралийского геофизического оборудования SIROTEM МК3 с совмещенной петлей 50 на 50 метров. Данные измерений ЗСБ в точке №.1, расположенной рядом со скважиной Табела 12 (Рис.1.А), использовались для корреляции между данными метода ЗСБ и геологической информацией по каротажным данным в скважине Табела 12.

## Интерпретация данных метода ЗСБ

Геологическая модель, создаваемая из интерпретации данных геофизических исследований в скважине Табела 12, состоит из 7 слоев и использовалась также для интерпретации данных ЗСБ. Этими слоями являются; первый слой состоит из песчаника, переслаиваемый глиной с толщиной 10 м, второй слой состоит из песчаника (зона А) с толщиной 20 м и удельным сопротивлением 400 Ом.м, третий слой состоит из песчаника, переслаиваемый глиной с толщиной 80 м и удельным сопротивлением 180 Ом.м, четвертый слой состоит из песчаника (зона Б) с толщиной 50 м и удельным сопротивлением 500 Ом.м, пятый слой состоит из глины переслаиваемая песчаником с толщиной 40 м и удельным сопротивлением 80 Ом.м, шестой слой состоит из песчаника (зона В) с толщиной 25 м и удельным сопротивлением 500 Ом.м, и седьмой слой состоит из глины с удельным сопротивлением 70 Ом.м.



**Рисунок 2.** (А) Карта местоположения точек и профили метода ЗСБ (Б) Корреляция между ЗСБ № 1 и данными скважины Табела\_12 (В) Геоэлектрические разрезы вдоль первого, второго, третьего и четвертого профиля 1- глинистый песчаник; 2- песчаник; 3- глина

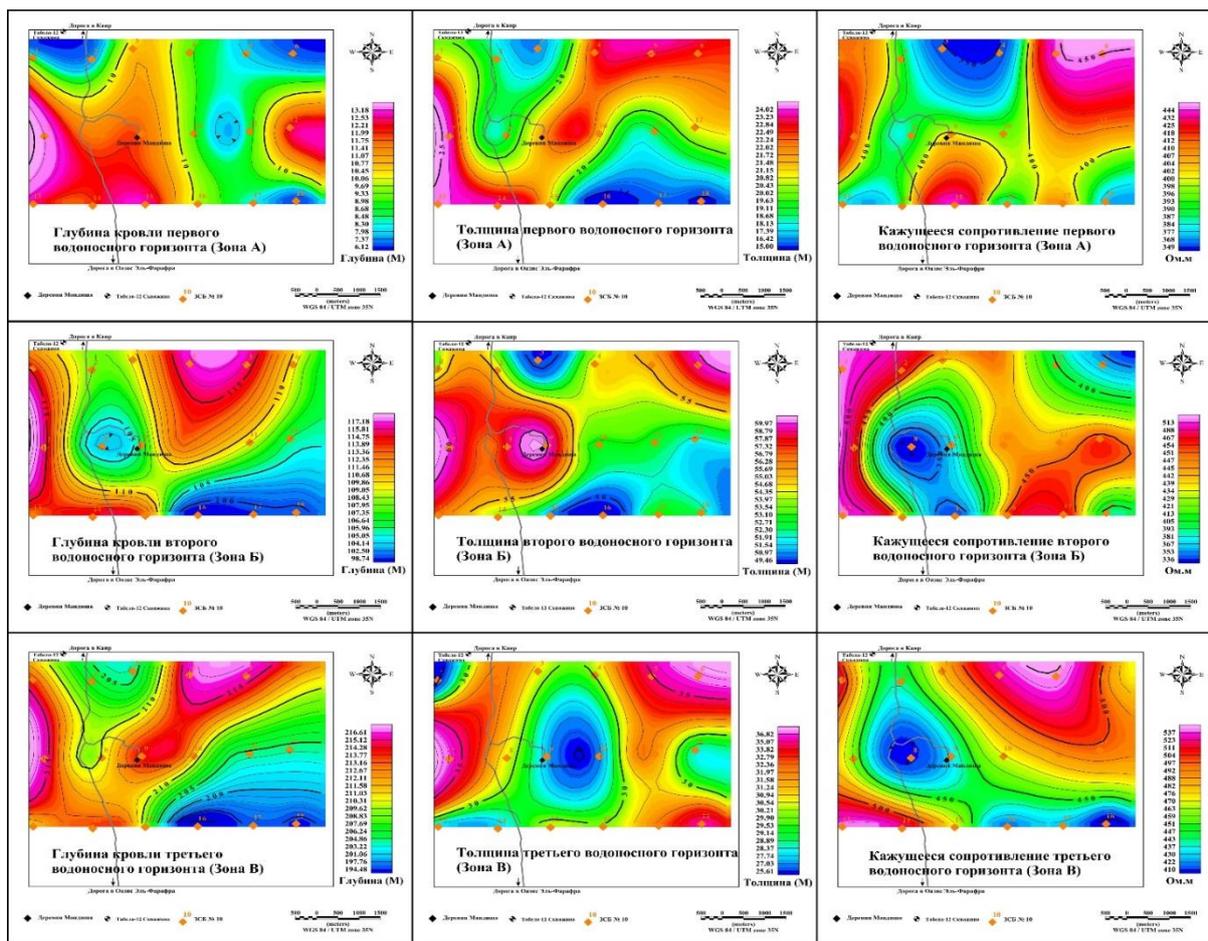
Корреляция между данными ЗСБ № 1 и данными скважины Табела\_12, показанная на Рис.1.Б, дает хорошее соответствие между ЗСБ № 1 и скважиной Табела\_12. Результаты интерпретации ЗСБ №1 показали, что оптимальное количество слоев в ЗСБ №1 семь. Геоэлектрический разрез по данным ЗСБ включает только зоны А, Б и В. Глубина зоны А в скважине Табела\_12 с удельным сопротивлением 400 Ом.м изменяется от 10 м до 30 м, а в ЗСБ №1 глубина зоны А с удельным сопротивлением 412

Ом.м изменяется от 9 м до 30 м. Глубина зоны Б в скважине Табела\_12 с удельным сопротивлением 500 Ом.м изменяется от 110 м до 160 м, а глубина зоны Б в ЗСБ №1 с удельным сопротивлением 519 Ом.м изменяется от 115 м до 169 м. Глубина зоны В в скважине Табела\_12 с удельным сопротивлением 500 Ом.м изменяется от 200 м до 225 м, а глубина зоны В в ЗСБ №1 с удельным сопротивлением 515 Ом.м изменяется от 214 м до 239 м (Рис.1.Б).

На основании интерпретаций геофизических метода ГИС и ЗСБ, Окончательные результаты интерпретации данных ЗСБ были использованы для построения четвёртые профили П<sub>1</sub>–П<sub>4</sub>. Первый профиль длиной 5500 м были построены с севера на юг, а остальные три профиля (П<sub>2</sub>, П<sub>3</sub> и П<sub>4</sub>) длиной 7500 м были построены с запада на восток (Рис.1.В).

Геоэлектрический разрез вдоль профилей П<sub>1</sub>–П<sub>4</sub> (Рис.1.В) состоит из семи слоев. Первый слой состоит из глинистого песчаника толщиной от 8 до 14м и удельным сопротивлением 45 - 190 Ом.м. Второй слой состоит из песчаника (зона А) толщиной от 15 до 25м и удельным сопротивлением 290 - 450 Ом.м. Третий слой состоит из глинистого песчаника толщиной от 75 до 85м и удельным сопротивлением 60 - 90 Ом.м. Четвертый слой состоит из песчаника (зона Б) толщиной от 50 до 60м и удельным сопротивлением 300 - 525 Ом.м. Пятый слой представлен глиной толщиной от 40 до 50м и удельным сопротивлением 65 - 140 Ом.м. Шестой слой состоит из песчаника (зона В) толщиной от 25 до 37м и удельным сопротивлением 425 - 550 Ом.м. Седьмой слой сложен глиной с удельным сопротивлением 50 - 55 Ом.м (Рис.1.В). Метод ЗСБ в точках (ЗСБ № 4 и 5) позволяет оценить толщину и сопротивление этого низкоомного тонкого слоя, этот слой имеет толщину в диапазоне от 8 до 9 м и низкое удельное сопротивление в пределах от 45 до 55 Ом.м (Рис.1.В).

Результаты интерпретации данных ЗСБ были использованы для построения карт глубины, толщины и удельного сопротивления водонасыщенных зон А, Б и В (Рис.2). Глубина первого водоносного горизонта (Зона А) изменяется от 8 до 14м, его толщина - от 15 до 25м, а удельное сопротивление - от 390 до 450 Ом.м. Зависит от высоких значения удельного сопротивления в зоне А, их толщин и небольших глубины кровли первого водоносного горизонта (Зона А) по данным ЗСБ; лучшее место для бурения водозаборной скважины в зоне А на исследуемом участке, недалеко от ЗСБ № 13, 17 и 18 (Рис.2). Глубина второго водоносного горизонта (Зона Б) изменяется в пределах от 98 до 124м, его толщина - от 50 м до 60м, а удельное сопротивление - от 300 до 525 Ом.м. Зависит от высоких значения удельного сопротивления в зоне Б, их толщин и небольших глубины кровли второго водоносного горизонта (Зона Б) по данным ЗСБ; лучшее место для бурения водозаборной скважины в зоне Б на исследуемом участке недалеко от ЗСБ № 1, 13 и 17 (Рис.2). Глубина третьего водоносного горизонта (зона В) изменяются в пределах от 188 до 234м, его толщина - от 25 до 37м, а удельное сопротивление - от 425 до 550 ом.м. Зависит от высоких значения удельного сопротивления в зоне В, их толщин и небольших глубины кровли третьего водоносного горизонта (Зона В) по данным ЗСБ; лучшее место для бурения водозаборной скважины в зоне В на исследуемом участке, недалеко от ЗСБ № 5 и ЗСБ №13 (Рис.2).



**Рис. 2.** Карты глубины залегания, толщины и кажущего удельного сопротивления первого водонасыщенного горизонта (Зона А), второго водонасыщенного горизонта (Зона Б) и третьего водонасыщенного горизонта (Зона В)

## Выводы

1. Основными зонами водонасыщенных горизонтов в исследуемом районе являются зоны А, Б и В. Глубина зоны А колеблется от 8 м до 14 м, глубина зоны Б – от 98 м до 124 м, глубина зоны В – от 188 м до 234 м.
2. Лучшее место для бурения водозаборной скважины в зоне А на исследуемом участке, по результатам данным ЗСБ находится недалеко от ЗСБ № 13, 17 и 18; а, в зоне Б находится недалеко от ЗСБ № 1, 13 и 17; а, в зоне В находится недалеко от ЗСБ № 5 и 13.

## Библиография

1. Колесников В.П. Основы интерпретации электрических зондирований. М. // Научный мир, 2007, 248 с.
2. Куфуд О. Зондирование методом сопротивлений М. //, Недра, 1984, 270 с.
3. Diab M.S. Hydrogeological and hydrochemical studies of the Nubian sandstone water-bearing complex in some localities in United Arab Republic // PhD Thesis, Assiut University, Egypt, 1972.
4. Himida I.H. Artesian water of the oases of Libyan Desert in U.A.R // Ph.D. Thesis, 1964, M.G.R.U Moscow (Russian language).
5. Khalifa R.M. Study of groundwater resources management in El-Bahariya Oasis // PhD Thesis, Faculty of Science, Alexandria University, Egypt, 2006, 226 P.

*Определение композиционного состава и количественного соотношения минеральных фаз хромитов с применением метода ядерного гамма резонанса*  
*Ерин Д.В.\* (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ), e-mail:dmerin@yandex.ru),*  
*Медведев А.А (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ), e-mail:medvedevaa@mgri.ru),*  
*Посеренин А.И. (ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ), e-mail: posereninai@mgri.ru)*

## **Аннотация**

Актуальность определения содержания хромитов в хромосодержащих рудах для горнорудной промышленности заключается в том, что хромиты являются основным и единственным сырьем для получения феррохрома и хромистой стали. Увеличение объема их добычи, повышение извлечения их из руд и снижение их потерь – принципиальный вопрос развития минерально-сырьевого комплекса.

Обоснована эффективность применения метода ядерной гамма-резонансной (месбауэровской) спектроскопии для определения фазового состава хромитовых руд, т.к. существующие аналитические методы в основном рассчитаны на определение только элементного состава, и не позволяют эффективно проводить усреднение горной массы. В то же время именно технологические свойства определяются фазовым составом руды.

**Ключевые слова:** метод ядерного гамма резонанса, фазовый состав, хромитовые руды, железо, источник излучения

## **Теория**

В настоящее время важной проблемой развития минерально-сырьевого комплекса является ускорение научно-технического прогресса в горнодобывающих отраслях. Проблема в целом представляет собой комплекс многих задач, среди которых ответственная роль принадлежит разработке эффективных методов управления производственными процессами. К их числу относится задача определения содержания полезных минералов в рудах в процессах их добычи и переработки на горных предприятиях, обеспечивающая высокие технико-экономические показатели их производства. Одним из таких минералов являются хромиты, представляющие собой основное природное сырье для получения хрома, широко используемого в черной металлургии в процессах выплавки сталей.

Поскольку хромиты являются основным и единственным сырьем для получения феррохрома и хромистой стали, то увеличение объема их добычи, повышение извлечения их из руд и снижение их потерь – принципиальный вопрос развития черной металлургии. Поэтому определение содержания хромитов в хромосодержащих рудах по резонансному поглощению ими гамма-квантов является актуальной научной задачей, имеющей важное значение.

Сегодня интенсивно развиваются фундаментальные и прикладные исследования, основанные на явлении ядерного гамма резонанса. Одну из широких областей применения, основанной на этом явлении спектроскопии составляют исследования

структуры железосодержащих минералов. Такие минералы входят в состав хромитовых руд. К числу этих минералов относятся хромшпинелиды, в основном это магнохромит, хромпикотит, алюмохромит. О количестве железосодержащей фазы, его изменений, а также о фазовых превращениях судят по параметрам мессбауэровских спектров (Рисунок 1).

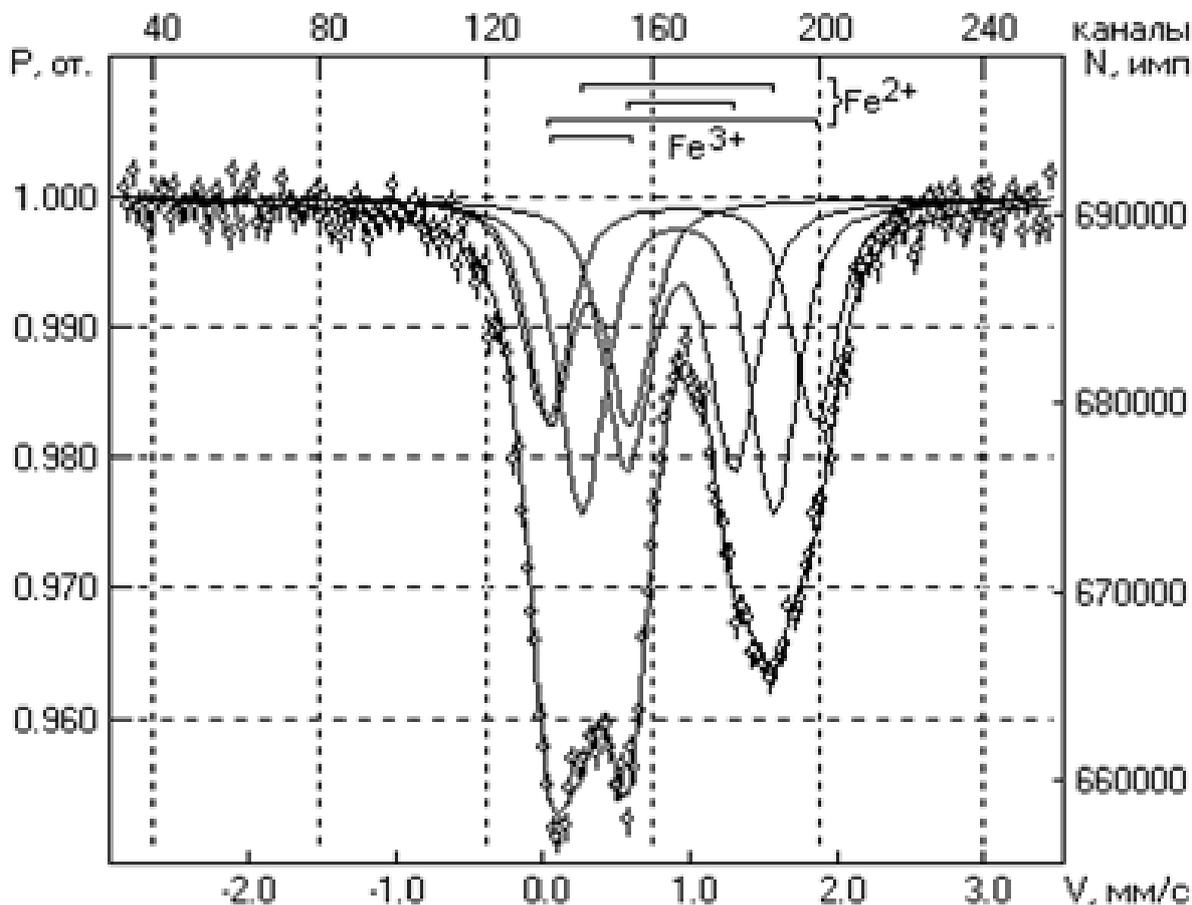


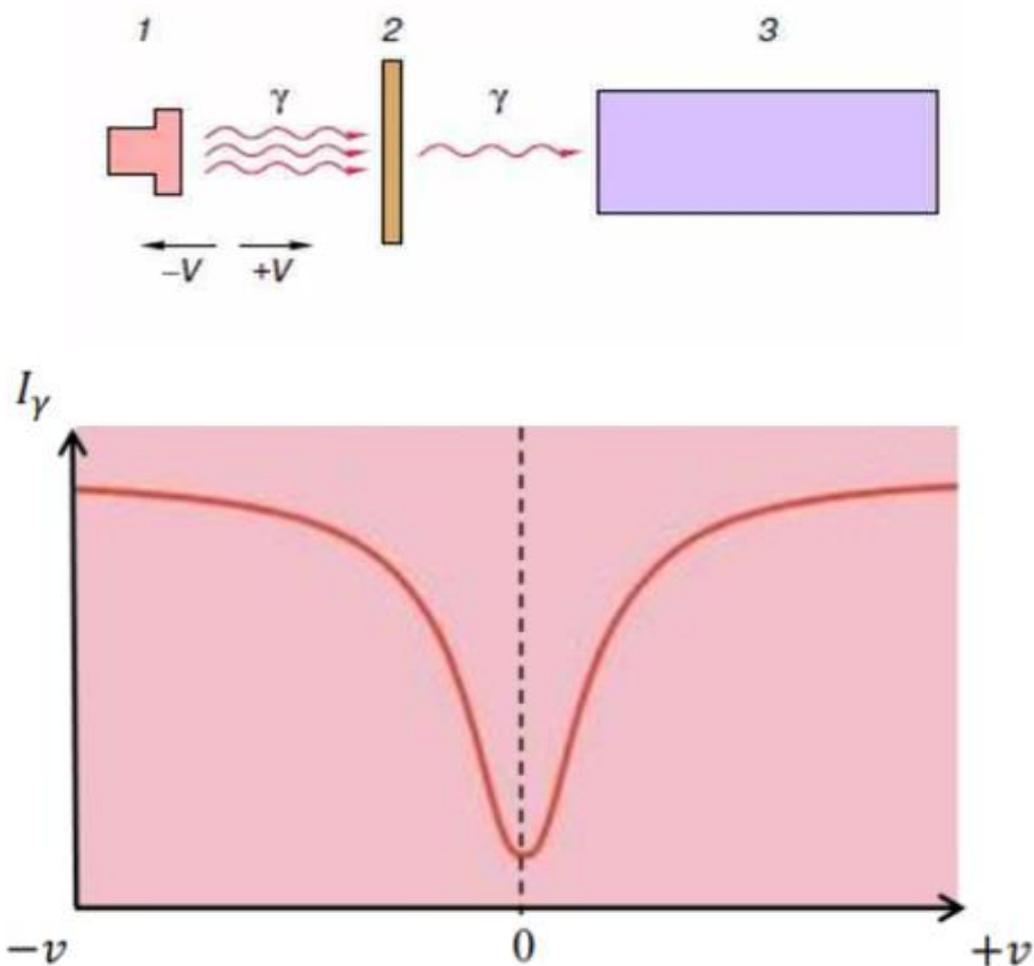
Рисунок 1. Мессбауэровский спектр хромита

Хромитовые руды имеют в своем составе амальгамы шпинелей, в которых содержатся двухвалентные ионы  $Fe^{2+}$  и  $Mg^{2+}$ , а также трехвалентные ионы, главным образом  $Cr^{3+}$ ,  $Al^{3+}$  и  $Fe^{3+}$ . Однако практическое значение имеют только его кислородные соединения известные под названием хромшпинелиды с общей формулой  $(Mg, Fe)[Cr, Al, Fe]_2O_4$ . Наиболее распространенными и интересными с промышленной точки зрения минералами этой группы являются магнохромит, хромпикотит и алюмохромит. Они встречаются в одинаковых геологических условиях, неотличимы друг от друга по внешним признакам. Поэтому в производственной практике их называют одинаково хромитами.

Большое значение для исследования хромитов является тот факт, что их состав характеризуется повышенным содержанием железа (более 18%), а значит изотопа железа - 57 (распространенность изотопа  $^{57}Fe \approx 2\%$ ). Известно, что ядро  $^{57}Co$  путем электронного захвата превращается в ядро  $^{57}Fe$  в схеме распада которого, имеется резонансный уровень с энергией 14,4 кэВ.

Принципиальная схема экспериментальной установки для наблюдения эффекта Мессбауэра на ядрах железа – 57 приведена на рисунке 2.

Источник излучения  $^{57}\text{Co}$  ( $^{57}\text{Fe}$ ) заключен в кристаллическую решетку. Резонансные гамма с энергией 14,4 кэВ регистрируются сцинтилляционным детектором. Между источником и детектором располагается образец (поглотитель), содержащий железо  $^{57}\text{Fe}$ . Источник может двигаться относительно поглотителя со скоростью  $\mp v$ . Когда источник неподвижен, то  $\gamma$  кванты с энергией 14,4 кэВ попадают в поглотитель и часть из них резонансно поглощаются. Если источник движется, то энергия гамма-квантов, попадающих в поглотитель, изменяется на величину  $\mp \Delta E = \frac{vE}{c}$ . Кривая зависимости скорости счета детектора от скорости движения источника называется мессбауэрсовским спектром. Так как ширина резонанса  $\Gamma$  у ядра  $^{57}\text{Fe}$  составляет  $6,6 \cdot 10^{-9}$  эВ, то поглощение уменьшается в несколько раз по сравнению с поглощением при неподвижном источнике [3].



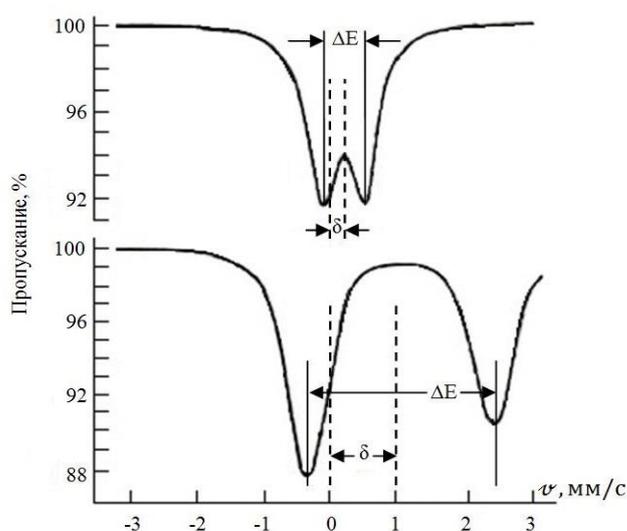
**Рисунок 2.** Схема измерения мессбауэрского спектра железа. 1 – источник излучения, 2 – образец, 3 – детектор

Если источник и поглотитель изготовлены из одного материала, то линия поглощения совпадает по энергии с линией испускания и резонанс наблюдается при нулевой скорости. Если же излучающие и поглощающие ядра находятся в разных химических соединениях, то линия поглощения может быть сдвинута относительно испускания на величину  $\delta$ , которая называется изомерным сдвигом. Этот сдвиг проявляется в спектре: линия резонансного поглощения смещена относительно нулевой скорости. Измерение величины изомерного сдвига позволяет судить о природе

химических связей и виде химического соединения, в который входит мессбауэровский изотоп.

Наличие внутренних электрических и магнитных полей приводит к расщеплению энергетических уровней возбужденного ядра на подуровни. При этом во многих ядрах железосодержащих минералах возникает квадрупольный электрический момент, который взаимодействует с электрическим полем, окружающим ядро. Например, уровень ядра  $^{57}\text{Fe}$  с энергией 14,4 кэВ расщепляется на 2 подуровня, с каждого из которых возможен переход в основное состояние. В резонансном спектре появляются две линии, расстояние между которыми и определяет величину квадрупольного электрического расщепления [3]. Резонансные спектры, полученные с использованием  $^{57}\text{Fe}$ , позволяют идентифицировать валентное состояние железа в образце. Соотношение между окисной и закисной формами железа является важной петрофизической характеристикой железосодержащих минералов. Спектры трехвалентного железа содержит два близких пика, причем их общий центр соответствует очень малому смещению при нулевой скорости. В спектрах двухвалентного железа линии поглощения находятся далеко, а изомерный сдвиг существенно больше (Рисунок 3).

Если в образце присутствуют одновременно  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Fe}^{3+}$ , то по мессбауэровскому спектру можно определить содержание каждого компонента. Для этого нужно измерить площади под соответствующими пиками резонансного поглощения. Известно, что наиболее резко  $\text{FeO}$  преобладает над  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  в ультраосновных породах. Поскольку хромиты встречаются исключительно в магматических ультраосновных породах дунитах, передотитах, серпентинитах, площади под пиками двухвалентного железа существенно больше [3,5]. Преимуществом определения валентного состояния методом ядерной резонансной спектроскопии по сравнению с традиционным химическим методом, является возможность определения валентности без растворения образца. Одна из задач фазового анализа хромосодержащих руд связана с отдельным определением содержания в них гематита ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) и магнетита ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Из-за различия в магнитных свойствах и во внутренней структуре кристаллов мессбауэровские спектры этих минералов также существенно различаются [1,2,4].



**Рисунок 3.** Спектры ядерного гамма резонанса на железе. Снизу – спектр двухвалентного железа, сверху – трехвалентного железа

## **Выводы**

Рациональное и экономически эффективное использование уникальных запасов хромитовых руд является одной из важнейших задач развития минерально-сырьевого комплекса. Повышение эффективности рудоподготовки, разработка высокоэффективных процессов обогащения и оптимизация существующих технологических решений требуют разработки и совершенствования методов контроля фазового состава исходной руды, концентратов и хвостов обогащения. Аналитические методы определения элементного состава для решения этих вопросов недостаточны. Физическую основу их решения, адекватную технологическим требованиям, могут составлять только те явления, происходящие в рудах и продуктах их переработки, закономерности которых существенно зависят от фазового состава таких объектов. В этом отношении к одним из перспективных явлений относится резонансное поглощение гамма-квантов мессбауэровскими ядрами, входящими в состав рудных минералов.

## **Библиография**

1. Воронина Е.В., Пятаев А.В. Мёссбауэровская спектроскопия / Учебно-методическое пособие для студентов Института физики // Казань: Казанский (Приволжский) федеральный университет, 2013. – 33 с.
2. Куражковская В.С. Боровикова Е.Ю. Инфракрасная и мессбауэровская спектроскопия кристаллов. – М.: МГУ. Геологический факультет, 2008. – 98 с.
3. Мейер В.А., Ваганов П.А. Основы ядерной геофизики. – Л.: ЛГУ, 1988. - 376 с.
4. Русаков В.С., Губайдулина Т.В. Специальный физический практикум. Мессбауэровская спектроскопия. – М.: ООП Физ. фак-та МГУ, 2009. – 83 с.
5. Фабричный П.Б., Похолок, К.В. Мессбауэровская спектроскопия и ее применение для химической диагностики неорганических материалов. // Курс лекций для студентов и аспирантов хим. факультета МГУ. 2012.

***Оценка теплопроводности карбонатных коллекторов на основе теории эффективных сред***

***Калинина М.С.\* (Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ), kalininamaryia@gmail.com), Пичугин З.А. (Сколковский институт науки и технологий, zakhar.pichugin@skoltech.ru), Рудаковская С.Ю. (ООО "Арктик-ГЕРС", ru@arctic-gers.ru), Савельев Е.Г. (Сколковский институт науки и технологий, e.savelev@skoltech.ru)***

**Аннотация**

Путём сравнения полученных теоретических оценок и экспериментальных данных проанализированы наиболее применяемые подходы теоретического моделирования теплопроводности неоднородных сред для осадочных горных пород: методы Лихтенеккера, Роя-Адлера и теория эффективных сред. Анализ проводился на примере коллекции карбонатного коллектора порового типа, состоящей из 33 стандартных образцов пород. Измерения теплопроводности выполнялись методом оптического сканирования для сухих, водо- и нефтенасыщенных образцов. Установлено, что модель теории эффективных сред является альтернативным вариантом теоретической оценки теплопроводности карбонатной породы-коллектора для указанных состояний.

**Ключевые слова**

Теплопроводность, теория эффективных сред, метод оптического сканирования, карбонатный коллектор.

**Теория**

Разработка и оптимизация тепловых методов добычи трудноизвлекаемых запасов углеводородов, моделирование осадочных бассейнов и нефтегазоносных систем, определение тепловых потоков связаны с повышением надежности данных о теплопроводности горных пород.

На сегодняшний день не существует надежного способа измерения теплопроводности горных пород в скважинах, поэтому ведущую роль занимают лабораторные методы измерений на образцах керна. В научно-исследовательских и производственных работах наиболее распространено применение методов оптического сканирования и разделенного стержня. Особенно эффективным является метод оптического сканирования, который позволяет проводить бесконтактные измерения как на стандартных образцах, так и на полноразмерном керне, при этом образцы не требуют специальной подготовки. Метод имеет высокую пространственную разрешающую способность профилирования (1 мм). Данные теплопроводности, полученные методом оптического сканирования, имеют широкий динамический диапазон, полная погрешность измерений теплопроводности составляет не более  $\pm 2,5\%$  (при доверительной вероятности 0,95 и при равном вкладе случайной и систематической погрешности) [4].

Несмотря на существование вышеперечисленных лабораторных методов измерений теплопроводности на образцах керна, иногда не представляется возможным их проведение. Основными причинами является отсутствие керна на интервале бурения и техническая сложность исполнения эксперимента на насыщенных образцах

(многочисленные процессы экстракции, высушивания и насыщение флюидом под вакуумом). В таких случаях использование теоретического моделирования становится необходимым этапом. В настоящей работе рассматривается возможность применения теории эффективных сред (ТЭС) для оценки теплопроводности флюидонасыщенной породы-коллектора карбонатного типа.

Существует несколько классов параметрических моделей, наиболее широко распространёнными являются инженерные подходы и модели теории эффективных сред [1]. В отличие от инженерных подходов, предполагающих несложные математические вычисления (методы Лихтенеккера и Роя-Адлера), подходы ТЭС учитывают особенности внутренней структуры образца: форму пустот, их ориентацию и взаимное расположение, тем самым обеспечивая более достоверную оценку эффективной теплопроводности. В большинстве методов ТЭС поры и трещины аппроксимируются эллипсоидами вращения, форма которых характеризуется специальным параметром - аспектным отношением, который определяет относительное раскрытие пустот.

Для нахождения эффективной теплопроводности в данной работе использовался метод самосогласования ТЭС [3, 5]. Его использование обосновывалось меньшим числом параметров среди других моделей ТЭС, например, в сравнении с моделью обобщённого сингулярного приближения (модель с дополнительным параметром связности пустот). Согласно методу самосогласования, в общем случае тензор эффективной теплопроводности  $\lambda^*$  (2-го ранга) микронеоднородной среды можно определить по формуле:

$$\lambda^* = \left\langle \lambda(\mathbf{r}) \left[ \mathbf{I} - \mathbf{g}(\lambda(\mathbf{r}) - \lambda^*) \right]^{-1} \right\rangle \left\langle \left[ \mathbf{I} - \mathbf{g}(\lambda(\mathbf{r}) - \lambda^*) \right]^{-1} \right\rangle^{-1},$$

$$\mathbf{g} = -(\lambda^*)^{-1} \mathbf{F}$$
(1)

где, треугольные скобки обозначают усреднение по объёму среды,  $\mathbf{I}$  – единичная матрица,  $\mathbf{F}$  – тензорный коэффициент деполяризации [2], который имеет диагональный вид, и  $F_{11} + F_{22} + F_{33} = 1$ . В случае монетообразных пустот  $F_{11} = F_{22}$ ,

$F_{33} = (1 + e^2) \frac{e - \text{artg}(e)}{e^3}$ ,  $e \equiv \left[ \frac{1 - \alpha^2}{\alpha^2} \right]^{1/2}$ , где  $\alpha$  - аспектное отношение пустот. Уравнение (1)

решается итерационным способом, т.к. в его левую и правую части входят неизвестные. Если рассматривается порода, содержащая пустоты, заполненные одним видом флюида, то  $\lambda(\mathbf{r})$  принимает значения либо теплопроводности минеральной матрицы, либо флюида.

Анализ теоретических методов состоял в определении теплопроводности при помощи моделей Лихтенеккера, Роя-Адлера и ТЭС (модель самосогласования) и сравнении полученных результатов с экспериментальными данными о теплопроводности образцов породы в трех состояниях насыщения: сухом, водо- и нефтенасыщенном. В качестве модели пластовой воды использовался раствор NaCl с минерализацией 6 г/л. Вместо нефти образцы насыщали керосином, являющимся вполне адекватной теплофизической моделью нефти из-за близости их тепловых свойств.

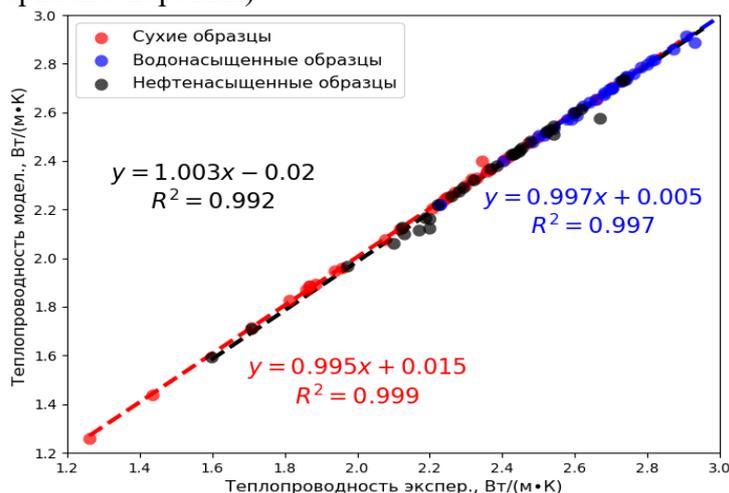
Экспериментальные данные были получены путем измерения теплопроводности методом оптического сканирования на 33 стандартных образцах карбонатного коллектора при последовательном насыщении их тремя вышеупомянутыми флюидами.

Коллекция была представлена комковатыми и ступково-комковатыми известняками. По типу пористости порода классифицировалась как пористая, пористо-кавернозная. Преимущественное количество образцов имели кавернозно-пористый тип коллектора, редко в коллекции были представлены малопористые образцы. Диапазон пористости составлял 1,5 ... 31%.

Для оценки теплопроводности по теоретическим моделям необходима информация о теплопроводности минеральной матрицы и порового флюида. За матрицу принималась та часть породы, которая не участвует в фильтрации флюида. Ее значение считалось разным для сухих, водо- и нефтенасыщенных образцов, поскольку вода и нефть могут изменять свойства контактов минеральных зерен. Из чего следует, что теплопроводность матрицы для моделей Лихтенеккера и Роя-Адлера была определена для каждого из состояний насыщения из уравнения регрессии «теплопроводность – пористость», представленного экспоненциальной функцией. Для модели ТЭС значения теплопроводности матрицы определялись при помощи границ Хашина-Штрикмана: использовался диапазон значений теплопроводности матрицы, при котором все экспериментальные значения теплопроводности лежали внутри рассчитанных энергетических границ. Использовалась следующая теплопроводность поровых флюидов при нормальных условиях:  $\lambda_{\text{воздух}} = 0,025$  Вт/(м·К);  $\lambda_{\text{вода}} = 0,60$  Вт/(м·К);  $\lambda_{\text{нефть}} = 0,13$  Вт/(м·К).

## Результаты

На рисунке 1 представлены поля корреляции между теоретическими оценками теплопроводности с использованием ТЭС (метод самосогласования) и результатами измерений теплопроводности. Полученные аспектные отношения пустотного пространства изменялись в диапазоне от 0,02 до 0,28 для образцов в сухом, водо- и нефтенасыщенных состояниях. При данных аспектных отношениях пустоты считаются порами, что соответствует типу коллектора изученных образцов (поровый, порово-кавернозный, кавернозно-поровый).



**Рисунок 1.** Поля корреляции между экспериментальными данными о теплопроводности и результатами оценки теплопроводности при помощи модели теории эффективных сред для образцов породы в сухом, водо- и нефтенасыщенном состояниях

В Таблице представлено сравнение результатов теоретического моделирования, полученных с помощью ТЭС и других распространённых моделей, с данными измерений. Как следует из Таблицы, модель ТЭС даёт существенно более достоверную

оценку теплопроводности образцов породы при любом поровом флюиде в сравнении с моделями Лихтенеккера и Роя-Адлера. Например, относительное расхождение между теоретическими оценками по модели ТЭС и экспериментальными данными измерений теплопроводности составило: 0,5% для сухих; 1,1% для нефтенасыщенных; 0,4% для водонасыщенных образцов коллекции при средних значениях расхождения (с учетом его знака) -0,2%; 0,5%; 0,2% соответственно, в то время как для других моделей подобные расхождения для сухих и нефтенасыщенных образцов составляют -4,5...20,9%.

Таблица. 1

Сравнение результатов оценки теоретического моделирования теплопроводности для моделей ТЭС, Лихтенеккера и Роя-Адлера с экспериментальными данными

Относительное отклонение результатов теоретического моделирования от экспериментальных данных, %	Тип насыщающего флюида								
	Воздух			Модель пластовой нефти			Модель пластовой воды		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Среднее	-0,2	20,9	-10,0	0,5	11,0	-4,5	0,2	5,2	0,3
Относительное расхождение	0,5	23,7	11,6	1,1	12,6	5,9	0,4	6,3	2,6

Примечание: 1 – теория эффективных сред, 2 – модель Лихтенеккера, 3 – модель Роя-Адлера.

## Выводы

В ходе данной работы установлено, что ошибка прогнозирования теплопроводности по модели ТЭС для трех состояний насыщения (сухое, водо- и нефтенасыщенное) составляла первые проценты, что сравнимо с полной погрешностью измерений теплопроводности методом оптического сканирования. В отличие от модели ТЭС, более простые модели Лихтенеккера и Роя-Адлера дают достаточно грубую оценку теплопроводности, в особенности, для сухих и нефтенасыщенных пород.

В случаях, когда отсутствует возможность проведения измерений, модель самосогласования ТЭС может быть предложена в качестве надежного альтернативного варианта оценки и прогнозирования теплопроводности карбонатных коллекторов порового типа в сухом, водо- и нефтенасыщенном состояниях при наличии исходных данных о теплопроводности минеральной матрицы и порового флюида.

## Библиография

1. Баяк И.О. Теоретические основы определения эффективных физических свойств коллекторов углеводородов // Акустика неоднородных сред. 2011. Т. 12. С. 107–120.
2. Ландау Л. Д., Лифшиц И. М. Электродинамика сплошных сред. М.: Наука, 1982. 460 с.
3. Шермергор Т. Д. Теория упругости микронендродных сред. М.: Наука, 1977. 400 с.
4. Popov Y., Beardsmore G., Clauser C., Roy S. 2016. ISRM suggested methods for determining thermal properties of rocks from laboratory tests at atmospheric pressure. //

Rock Mechanics and Rock Engineering, 49(10), 4179–4207. doi:  
<http://dx.doi.org/10.1007/s00603-016-1070-5>.

5. Willis J. 1977. Bounds and self-consistent estimates for the overall properties of anisotropic composites // J. Mech. Phys. Sol. Vol. 25, 185–202.

**Бесконтактные измерения в электроразведке методом сопротивлений; опыт математического моделирования**

**Каринский А.Д.\* (МГРИ, akarinski@mail.ru),  
Кудина Я.О. (МГРИ, kudinayo@mgri.ru), Матюшенко А.А. (МГРИ,  
anyamatyshenko@rambler.ru)**

**Аннотация**

В работе приведены результаты численных расчётов для модели, соответствующей условиям бесконтактных измерений в электроразведке методом сопротивлений. Получены результаты моделирования для предельной дипольно-осевой установки, расположенной на небольшой высоте  $h$  над однородным проводящим полупространством. Расчёты выполнены при частоте 16 кГц, применённой в нескольких видах электроразведочной аппаратуры для бесконтактных измерений. Показано, что по сравнению с применяемой сейчас методикой более эффективным может быть определение значения кажущегося удельного электрического сопротивления  $\rho_k$  по составляющей напряжения электрического поля, меняющейся синфазно с электрическим током  $I$  в токовой линии  $AB$ .

**Ключевые слова**

Метод сопротивлений; бесконтактные измерения; моделирование.

**Теория**

В 70-х годах XX-го века были начаты исследования с целью обоснования возможности применения бесконтактных измерений в электроразведке методом сопротивлений. Необходимость применения такой модификации возникает при проведении измерений методами сопротивлений в зонах многолетнемёрзлых пород, скальных грунтов, при наличии снежного покрова, либо, например, такого непроводящего искусственного покрытия, как асфальт или бетон. Кроме того, отсутствие необходимости заземления токовых ( $A, B$ ) и измерительных ( $M, N$ ) электродов позволяет значительно ускорить процесс измерений.

Теоретическое обоснование применения бесконтактных измерений и интерпретации получаемых результатов основывалось не на "строгом" решении соответствующей прямой задачи электродинамики, а на приближённых подходах. И, судя по недавним публикациям, положение с теоретическим обоснованием метода до сих пор существенно не изменилось. Например, часть работы [1] посвящена обоснованию тех ограничений, которые имеет применяемая приближённая методика расчётов. В этой работе представлены некоторые, полученные на основе "строгого" решения соответствующей прямой задачи электродинамики, результаты математического моделирования для расположенной на небольшой высоте  $h$  над проводящим полупространством дипольно осевой установки  $BAMN$ .

Очевидно, что проведение бесконтактных измерений в методах сопротивления возможно лишь при переменном токе  $I$  в питающей линии  $AB$ . Некоторые результаты математического моделирования при переменном токе  $I=I_0 \cdot \cos(2\pi ft)$  в электроразведке методом сопротивлений и каротаже КС, были приведены в статьях [5], [3], [4]. В последней из этих работ приведены решение прямой задачи электродинамики и

полученные на его основе результаты моделирования для случая, когда линия  $AB$  переменного тока лежит на поверхности "двухслойного" проводящего полупространства. Основой для получения решения задачи послужила методика, описанная в книге [2]. Эта же методика была применена при получении приведенных ниже результатов моделирования.

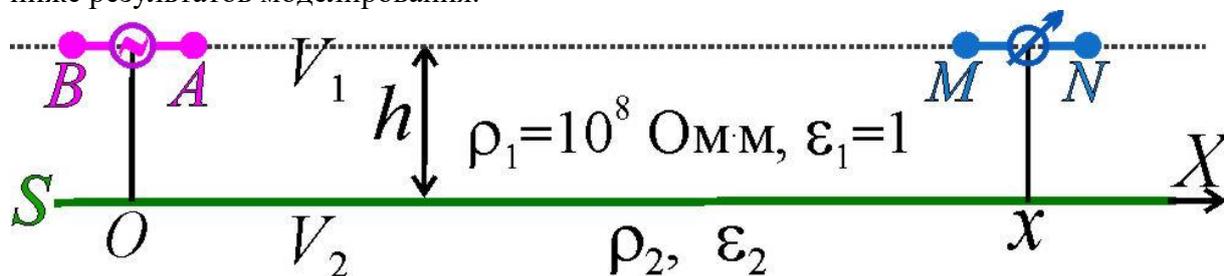


Рисунок 1. Модель среды и электроразведочной установки

На рисунке 1 показана модель, для которой были проведены расчёты. Горизонтальная плоскость  $S$  разделяет полупространства  $V_1$  и  $V_2$ . Генераторный ( $AB$ ) и измерительный ( $MN$ ) диполи расположены в полупространстве  $V_1$  на одной прямой, параллельной оси  $X$ , на высоте  $h$  над границей  $S$ . Компоненту  $E_x$  электрического поля  $\mathbf{E}$ , которой пропорционально напряжение  $E_{MN}$  поля  $\mathbf{E}$  в предельно короткой измерительной линии  $MN$ , определяет несобственный интеграл в смысле главного значения. Приведенные на рисунках 2, 3 значения кажущегося удельного электрического сопротивления  $\rho_k(E_x)$  для предельной дипольно-осевой установки определены по формулам:  $\rho_k(E_x) = K \cdot |E_x| / I_0$ ,  $K = \pi x^3$ , где  $|E_x|$  – амплитуда компоненты  $E_x$ , а  $K$  – коэффициент предельной дипольно-осевой установки.

На рисунке 2 представлены зависимости  $\rho_k(E_x)$  от разноса  $x$  при частоте  $f=16$  кГц, удельном электрическом сопротивлении  $\rho_2=100$  Ом·м и нескольких значениях высоты  $h$ . Заметим, что 16 кГц – это та "рабочая" частота, которая была выбрана для нескольких видов аппаратуры при бесконтактных измерениях в методах сопротивлений. При наших расчётах была задана диэлектрическая проницаемость  $\epsilon_2=10$ . Хотя при указанных значениях  $f$  и  $\rho_2$  выбор величины  $\epsilon_2$  – не существен, так как при любых, реальных для горных пород, значениях  $\epsilon_2$  всегда можно пренебречь влиянием токов смещения в нижнем полупространстве.

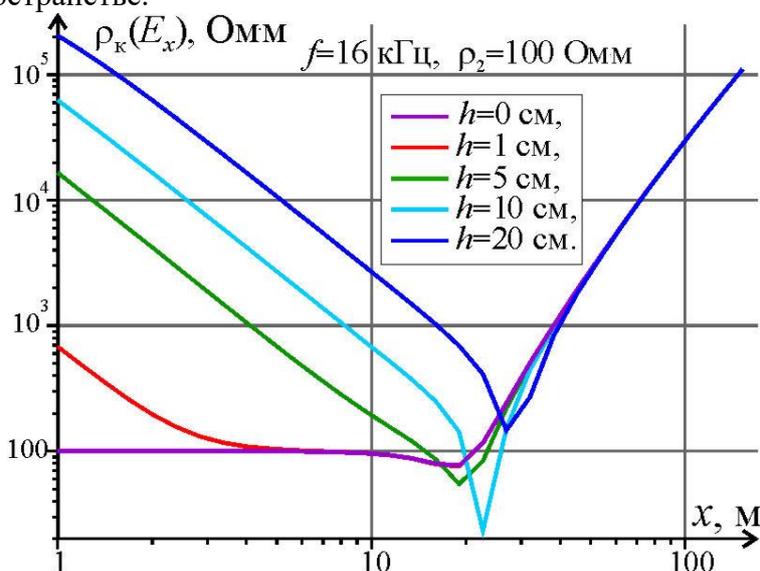


Рисунок 2. Зависимости  $\rho_k(E_x)$  от разноса  $x$  при нескольких значениях высоты  $h$

На рисунке 2 видно, что при  $h \leq 5$  см,  $f = 16$  кГц и  $\rho_2 = 100$  Ом·м величина  $\rho_k \approx \rho_2$ , если разнос  $x \approx 15$  м. Но при  $h = 10 - 20$  см и  $x \approx 15$  м значения  $\rho_k$  значительно больше  $\rho_2$ . Если  $x > 25 - 30$  м значения  $\rho_k$  перестают зависеть от  $h$  (индукционная асимптота).

На рисунке 3 показаны зависимости  $\rho_k(E_x)$  от разноса  $x$  при фиксированных высотах  $h = 5$  см (а) и  $h = 10$  см (б) и при трёх значениях удельного электрического сопротивления  $\rho_2$ . Видим, что при частоте  $f = 16$  кГц, указанных выше высотах  $h$  и разносах  $x$  порядка 10-и – 20-и метров величина  $\rho_k \approx \rho_2$  только при очень высоких значениях  $\rho_2$  ( $\rho_2 \approx 1000$  Ом·м, как на рисунке 3, или более).

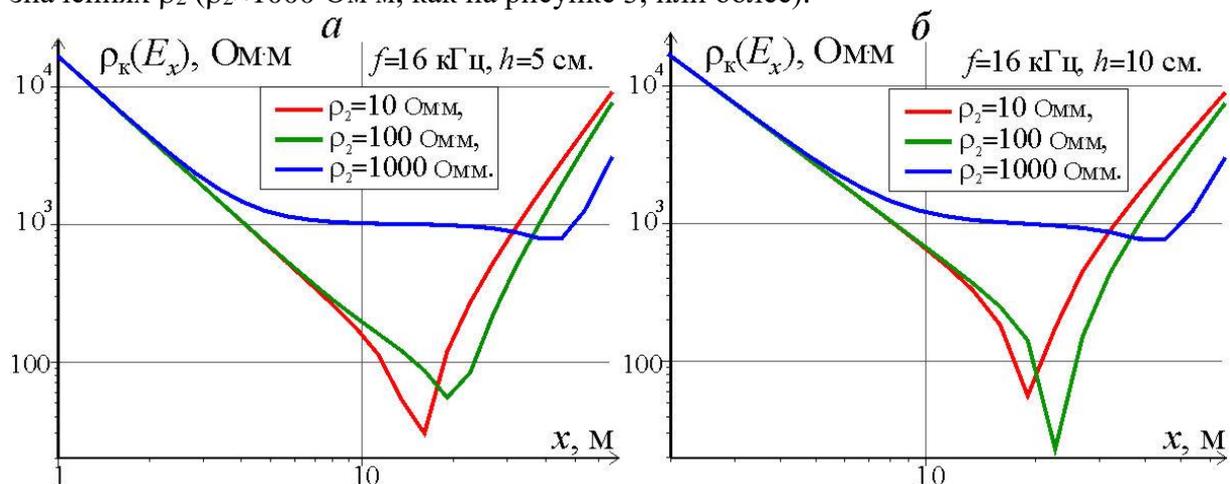


Рисунок 3. Зависимости  $\rho_k(E_x)$  от разноса  $x$  при нескольких значениях  $\rho_2$

При более низких значениях  $\rho_2$  (часто типичных для верхней части геологического разреза "немёрзлых" осадочных горных пород) значения  $\rho_k$  могут не иметь "тесной связи" с удельным электрическим сопротивлением  $\rho_2$ .

Значения  $\rho_k(|ReE_x|)$  на рисунке 4 определены по амплитуде  $|ReE_x|$  составляющей  $ReE_x$ , меняющейся синфазно, либо в противофазе, с током  $I$  в генераторном диполе  $AB$ . То есть  $\rho_k(|ReE_x|) = K \cdot |ReE_x| / I_0$ . Некоторые особенности графиков на этом рисунке связаны с тем, что функция  $ReE_x(x)$  не является знакопостоянной. Значения  $x$ , при которых составляющая  $ReE_x$  меняет знак, отмечены на этом рисунке вертикальными пунктирными линиями. Результаты расчётов, представленные на рисунке 4, а, получены при  $h = 5$  см, а на рисунке 4, б – при  $h = 10$  см.

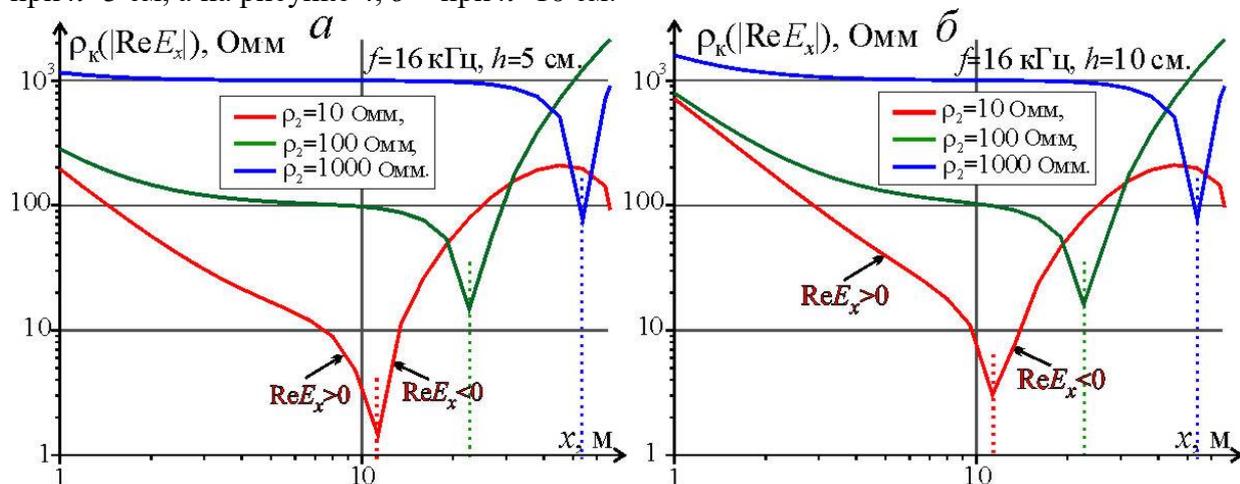


Рисунок 4. Зависимости  $\rho_k(|ReE_x|)$  от разноса  $x$  при нескольких значениях  $\rho_2$

При сравнении рисунка 4 с рисунками 2, 3 видно, что определение  $\rho_k$  по значению  $|\text{Re } E_x|$  при невысоких значениях  $\rho_2$  имеет явные преимущества по сравнению с применяемым сейчас определением  $\rho_k$  по величине  $|E_x|$ . В соответствии с рис. 4 при заданной частоте  $f$  можно выбрать такой разнос  $x$ , чтобы при широких пределах изменения  $\rho_2$  значения  $\rho_k(|\text{Re } E_x|)$  были близки к  $\rho_2$ , т. е. (применительно к показанной на рисунке 1 модели) эти значения  $\rho_k(|\text{Re } E_x|)$  характеризовали истинное удельное электрическое сопротивление проводящей среды. Из показанных на рисунке 4 результатов моделирования следует, что при частоте  $f=16$  кГц,  $h=5$  см или  $h=10$  см и  $10 \text{ Ом}\cdot\text{м} \leq \rho_2 \leq 1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$  таким "оптимальным" является разнос  $x \approx 8 \text{ м} - 10 \text{ м}$ .

На рисунке 5 показано то, как зависит от удельного электрического сопротивления  $\rho_2$  отношение  $\rho_k/\rho_2$ . Если это отношение близко к единице, то (применительно к показанной на рисунке 1 модели) величина  $\rho_k$  характеризует истинное удельное сопротивление  $\rho_2$  проводящей среды. Сплошные линии отвечают случаю, когда величины  $\rho_k$  определены по амплитуде компоненты  $E_x$ . Видим, что при различных разносах  $x$  и невысоких значениях  $\rho_2$  эти величины  $\rho_k$  не отражают истинное удельное электрическое сопротивление проводящей среды. Например, при указанных на рисунке 5 значениях  $f, h$  и при  $x=10$  м эти значения  $\rho_k$  близки к  $\rho_2$  при пределах изменения  $\rho_2$  от первых тысяч Ом·м до десятков тысяч Ом·м. При больших разносах  $x$  эти пределы шире, но с увеличением разноса уменьшается "детальность исследования" верхней части разреза при электропрофилеировании.

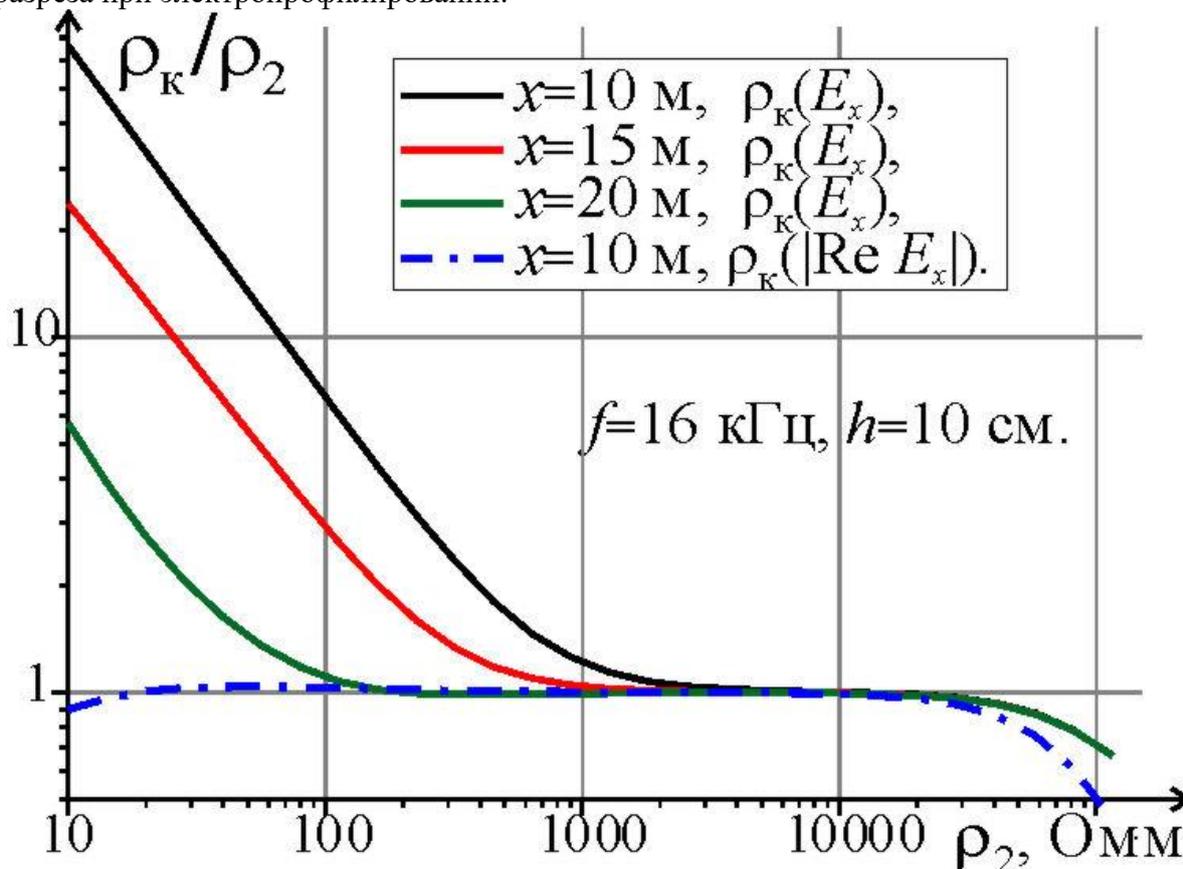


Рисунок 5. Зависимости отношения  $\rho_k/\rho_2$  от удельного электрического сопротивления  $\rho_2$

Штрихпунктирной линией на рисунке 5 показана зависимость отношения  $\rho_k/\rho_2$  от  $\rho_2$  при определении  $\rho_k$  по меняющейся синфазно с током  $I$  в линии  $AB$  составляющей  $\text{Re } E_x$  компоненты  $E_x$ . При тех значениях  $f$  и  $h$ , при которых были проведены расчёты,

определённые по этой составляющей значения  $\rho_k$  близки к  $\rho_2$  при пределах изменения  $\rho_2$  от десяти Ом·м до первых десятков тысяч Ом·м. Это означает, что определение  $\rho_k$  по составляющей  $Re E_x$  может позволить значительно расширить возможности применения бесконтактной модификации электропрофилеирования в электроразведке методом сопротивлений.

## **Выводы**

Проведено математическое моделирование для условий бесконтактных измерений в электроразведке методом сопротивлений. Результаты моделирования показали, что при не очень высоких величинах удельного электрического сопротивления  $\rho_2$  проводящей среды при принятой методике определения кажущегося удельного электрического сопротивления  $\rho_k$  эти значения  $\rho_k$  значительно отличаются от  $\rho_2$ . В таких случаях целесообразно определять  $\rho_k$  по составляющей напряжения в измерительной линии, меняющейся синфазно с током в генераторной линии.

## **Библиография**

1. Груздев А. И., Бобачев А. А., Шевнин В. А. Определение области применения бесконтактной технологии метода сопротивлений. Вестник Московского университета. Серия 4: Геология, издательство Изд-во Моск. ун-та (М.), 2020, № 5, с. 100-106.
2. Заборовский А. И. Переменные электромагнитные поля в электроразведке. М., Изд-во МГУ, 1960, 186 с.
3. Каринский А. Д. Решение осесимметричной прямой задачи теории каротажа КС при возбуждении поля переменным током. // Геофизика. 1998, № 2, С. 20-28.
4. Каринский А. Д., Шевнин В. А. Влияние индукции на результаты ВЭЗ на переменном токе. // Геофизика. 2001, № 5, с. 50-56.
5. Kaufman, A. A., Karinsky, A. D., Wightman, E. W., Influence of inductive effect on measurements of resistivity through casing // Geophysics. Vol. 61, – 1996 – pp. 34-42.

***О применении технологий каротажа в процессе бурения (LWD) эксплуатационных скважин на северном шельфе Каспия при больших зенитных углах и горизонтальном бурении***

***Кононенко Л.П.\* (МГРИ, levkononenko777@gmail.com), Зиновкин С.В. (МГРИ, zinsvl@gmail.com)***

**Аннотация**

При освоении запасов углеводородного сырья в акваториях, эксплуатационное разбуривание залежей производится с платформ, а также с самоподъемных или полупогружных буровых установок. Для максимального охвата залежей в продуктивном интервале бурят наклонно-направленные и горизонтальные стволы.

Проводка горизонтальных стволов — процесс достаточно сложный. Использование современных технологий записи ГИС (геофизические исследования скважин) и телеметрии в процессе бурения позволяет своевременно принимать решения по повышению эффективности бурения и оптимизации проводки скважины, а также выполнять контроль достижения геологических целей.

**Ключевые слова**

Геонавигация, скважина, бурение, ГИС, LWD, геологическая модель.

**Теория**

Геонавигация — это сервис, сочетающий в себе опыт и знания специалистов по геологии, геофизике, разработке и строительству скважин, и технологии каротажа во время бурения (LWD). В отличие от стандартных методов ГИС онлайн-каротаж LWD позволяет значительно экономить время на исследованиях, а в конечном итоге — на освоении всего пласта [1]. Основной задачей сервиса является проводка скважины в запланированном геологическом интервале (коллекторе) для улучшения ее производительности. Для успешного решения данной задачи необходимо понимание относительного расположения скважины в разрезе, а также поведения структуры. Снижение геологических и структурных неопределенностей во время бурения достигается путем выбора и использования необходимого комплекса каротажа [2].

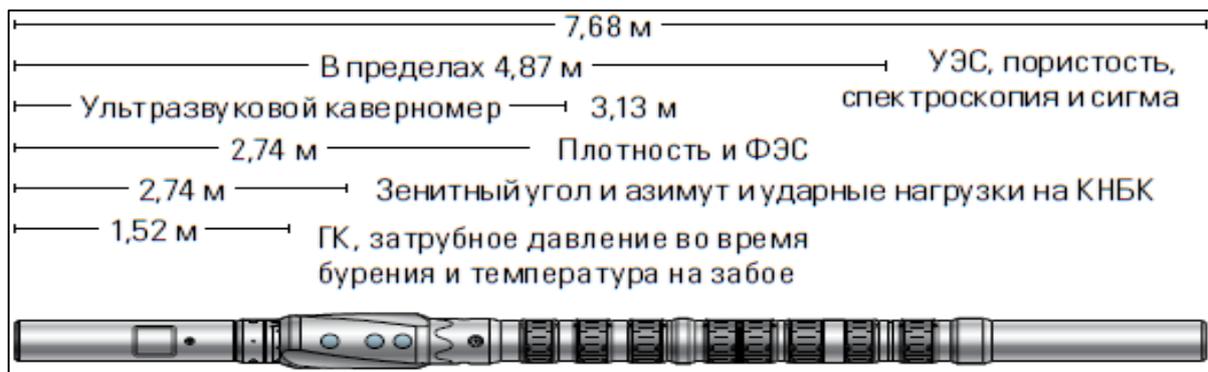
Перед началом бурения проектный профиль, строящейся скважины, сопоставляется с действующей геологической моделью, и выдается прогноз по положению основных структурных элементов — пересечение кровли опорных и целевых горизонтов, стратиграфических маркеров, разрывных нарушений. Имеющиеся геологические неопределенности (положение кровли, толщины) представляют риски для строительства скважин, которые могут быть оценены при помощи геологической модели.

В процессе геонавигации в режиме «онлайн» выполняется интерпретация новых данных, получаемых в процессе бурения. Эти данные сопоставляются с геологической моделью и, в результате выдаются рекомендации относительно продолжения процесса бурения.

При бурении горизонтальной секции на одном из месторождений северного шельфа Каспия применялся следующий комплекс аппаратуры компании Schlumberger: прибор многофункционального каротажа EcoScore (рисунок 1), система телеметрии TeleScore и роторная управляемая система (РУС) Xceed.

Для контроля выполнения поставленных задач, учитывая геологические характеристики вскрываемого разреза, использовался следующий набор данных, поступающих в режиме реального времени по системе InterACT:

- Гамма-каротаж;
- Каротаж сопротивлений (P16H, P34H, A34H);
- Каротаж плотности с верхнего и нижнего квадрантов;
- Каротаж нейтронной пористости;
- Имидж плотности.



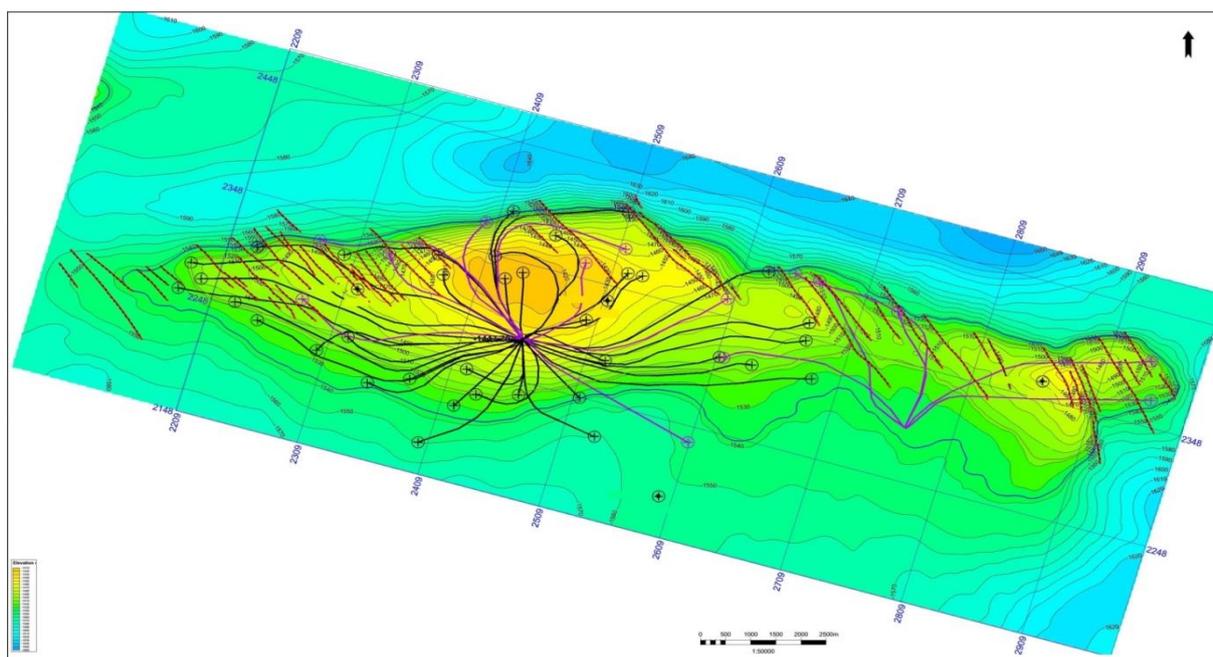
**Рисунок 2.** Многофункциональный геофизический комплекс EcoScore [4].

Для анализа проводки скважины использовалась действующая геологическая модель месторождения, включающая следующие элементы, наиболее востребованные при геонавигации:

- Структурная карта по кровле продуктивных отложений (рисунок 2);
- Временной сейсмический разрез вдоль плановой траектории скважины;
- Глубинный разрез свойства «песчанистость» (доля коллектора) по плановой траектории скважины;
- Разрез по плановой траектории скважины и горизонтальные срезы (в интервале глубин горизонтальной секции) куба Ant-Tracking (с целью прогноза зон развития малоамплитудных разломов и трещиноватости);
- Записи ГИС опорных вертикальных скважин и скважин окружения.

В процессе бурения секции горизонтального ствола под фильтр-хвостовик проведена корректировка траектории 15 раз, что в итоге позволило разместить 82% секции в коллекторе. По результатам бурения и освоения скважины сделаны выводы:

- Уточнена структурная модель месторождения на участке, ранее не разбуренном;
- Пересечены разрывные нарушения, определены тип и направление смещения блоков;
- Уточнены ФЕС и характер насыщения коллекторов;
- Подтверждено положение фактического ВНК на уровне начального;
- Геологическая модель месторождения обновлена в соответствии с поступившим фактическим материалом.



**Рисунок 3.** Структурная карта по кровле продуктивных отложений. Схема расположения горизонтальных стволов. Западный куст разбуривается с морской ледостойкой стационарной платформы, а восточный с самоподъемной буровой установки.

## Выводы

Таким образом, работы по геологическому сопровождению проводки наклонно-направленных и горизонтальных скважин позволяют в процессе бурения оптимизировать положение скважины в продуктивном интервале, и тем самым повысить возможный уровень добычи. Полученные в процессе бурения и освоения дополнительные геолого-геофизические и промысловые данные, позволяют актуализировать геолого-технологическую модель месторождения и повысить её достоверность [3]. На основе обновленной геолого-технологической модели с целью повышения экономических показателей проекта возможна корректировка или пересмотр проектных решений по освоению месторождения в части количества, конструкции и технологических режимов работы скважин, необходимости и количества резервных скважин, дополнительных мощностей компримирования и других объектов добычи.

## **Библиография**

1. Геонавигация – URL: <https://geosteering.ru/?id=11> (дата обращения: 25.02.2021).
2. Геонавигация в условиях незакартированных разломов на месторождении им. В. Виноградова АО «РИТЭК» - URL: <https://magazine.neftegaz.ru/articles/tekhnologii/626992-geonavigatsiya-v-usloviyakh-nezakartirovannykh-razlomov-na-mestorozhdenii-im-v-vinogradova-ao-ritek/> (дата обращения: 25.02.2021).
3. Дотянуться до глубин – URL: <https://www.gazprom-neft.ru/press-center/sibneft-online/archive/2015-november-projects/1109735/> (дата обращения: 25.02.2021).
4. EcoScore. Многофункциональный геофизический комплекс – URL: [https://www.slb.ru/upload/iblock/b84/broshyura\\_ecoscope.pdf](https://www.slb.ru/upload/iblock/b84/broshyura_ecoscope.pdf) (дата обращения: 25.02.2021).

*Планетарные причины изменения климата Земли*

*Лобанов А.М.\* (МГРИ, lobannet@mail.ru), Иванов А.А. (МГРИ, ivanovaa@mgri.ru),  
Белов А.П. (МГРИ, econg3@yandex.ru), Матюшенко А.А. (МГРИ,  
anyamatyshenko@rambler.ru)*

**Аннотация**

С точки зрения геофизиков МГРИ, получивших классическое геологическое образование и имеющих большой опыт изучения тектоники и геодинамики Земли, наблюдающееся в настоящее время потепление климата вызвано естественными физико-геологическими процессами, происходящими в литосфере и внутри самой Земли.

**Ключевые слова**

Конвективные тепловые потоки, геодинамика, аномалии геоида, дегазация Земли.

**Теория**

Потепление климата планеты очевидно и реально измерено [1,2,4,5,6,7,8]. Чаще всего этот факт связывают с производственной деятельностью человека (сжиганием углеводородов, загрязнением природной среды, уничтожением лесов и т.д.), приводящей к увеличению содержания в атмосфере  $\text{CO}_2$ , который создает парниковый эффект планеты, препятствующий охлаждению Земли [8].

Земля была и остается непрерывно меняющейся системой, в истории планеты были периоды почти сплошного оледенения и очень теплого и влажного климата на всей поверхности. Не отрицая влияния на климат астрономических причин, с периодами десятки тысяч лет, наблюдаемое в последнее столетие потепление – слишком короткий эпизод в жизни планеты, чтобы его связывать с астрономическими причинами (циклами Миланковича, прецессией (Рисунок 1) и нутацией земной оси, с погружением солнечной системы в галактическую туманность и т.д.).

При изменении угла наклона ( $\alpha$ ) оси вращения Земли к эклиптике возникают планетарные постоянно действующие горизонтальные силы, приводящие к активизации тектонических процессов в литосфере, к расширению/сужению глубинных швов, и как следствие к изменению теплового потока недр. В настоящее время скорость изменения угла прецессии земной оси наибольшая [4], поэтому динамика тектонических объектов самая активная, дегазация мантии наибольшая, следствием чего климат испытывает спорадические аномальные флюктуации. Прецессия земной оси и экватора вызывают появление длительно действующих горизонтальных сил по всему земному шару от ядра до поверхности, изменяя динамику конвективных движений разогретого вещества и внешнего ядра относительно самого ядра Земли, о чем свидетельствует и устойчивый тренд магнитного полюса в сторону Сибири в течение последних десятилетий.

Появление гомо сапиенс и бурный рост промышленности не приведет к уничтожению природы и гибели жизни на Земле. Вариации климата за несколько столетий слишком малый период в существовании Земли, но достаточный, чтобы обнаружить и оценить поведение глубинных тектонических разломов земной коры, которая покрывает расплавленное нутро планеты и которое постоянно в движении. Нередко забывают, что Земля имеет форму геоида, т.е. сферическую фигуру, радиусом

примерно 6371 км и сжатием примерно 1/300, состоящую из нагретых пластических пород, окруженных твердой литосферой толщиной примерно 30-40 км. Чтобы представить соотношение между параметрами твердой и пластической частями Земли, представьте, что на глобусе Земли радиусом 1 м, толщина литосферы будет всего 0,5 - 1 мм. Как известно, фигура геоида определяется распределением масс внутри планеты, которые зависят от распределения температуры вещества внутри планеты. Отклонения поверхности геоида от идеальной модели достигают  $\pm 80$  м и в настоящее время изменения поверхности геоида (а значит и перемещения масс внутри) обнаружено и измерено. Не вникая в источники теплового поля, его динамика проявляется в движениях тектонических плит, в извержениях вулканов, и, как следствие, в нагревании океанов. Именно неравномерное прогревание океанов определяет поведение климата на планете.

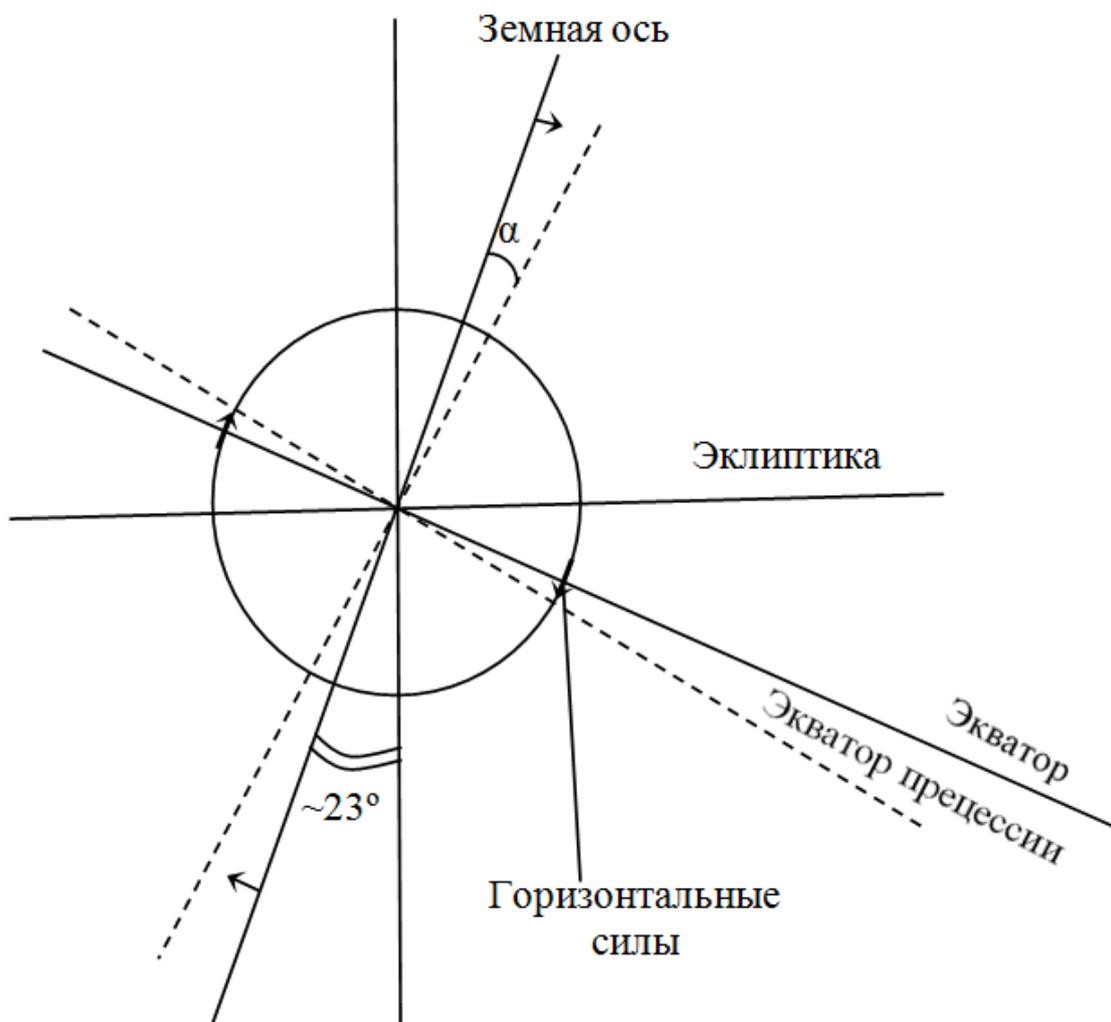


Рисунок 1. Прецессия экватора

Техногенные концепции потепления климата отличаются убедительными статистическими данными, детальностью и пользуются доверием у большинства населения. Влияние техногенных факторов на поведение климата считается научно доказанным фактом [2, 8], но он не является единственным, хотя приверженцы антропогенных причин считают его определяющим. Этот факт не отменяет влияние других причин в закономерности изменения климата и не доказывает, что он самый главный в этом процессе. Эти данные, как правило, охватывают лишь десятилетия, а

периоды изменения климата продолжают тысячелетиями, выражаясь математическим языком, у сторонников техногенных причин изменения климата, не презентабельная выборка.

Есть и другие факты, наводящие на мысль о влиянии тектонофизических причин на изменения климата. Так, например, известно, что 2000-2500 лет тому назад, северная часть Африки (современная Сахара) была в климатическом отношении очень благоприятной страной. Об этом свидетельствуют останки городов в северной Африке, в южной части Атласских гор находятся останки древнеримского города Джамилы и другие населенные пункты - свидетели расцвета цивилизации в этих местах. В настоящее время – это пустыни с аридным климатом, а ведь тогда не было роста содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере (по крайней мере таких данных нет). В прошлые времена на этой территории был теплый и достаточно дождливый климат. Об этом свидетельствуют также многочисленные высохшие русла древних рек в Сахаре. В настоящее время огромная площадь континента, включающую Сахару и Аравийский полуостров представляют собой пустыню. С чем это может быть связано? Очевидно, что ни астрономические явления, ни антропогенная деятельность не влияли на опустынивание этих регионов. Возможные причины – изменение глубинного состояния пород верхней мантии и активизация глубинных тектонических разломов повлиявших на изменение климата. Следствиями этих тектонических процессов являются увеличение теплового потока и дегазации из недр мантии. В работах [5,6,7] показано, что усиление дегазации водородосодержащих газов из рифтовых структур приводит к нагреванию морской воды и воздуха, что в свою очередь вызывает освобождение углекислого газа из морской воды и выброс его в атмосферу, создавая парниковый эффект. Усиление водородной дегазации приводит к разрушению озонового слоя атмосферы в результате чего происходит более сильное нагревание солнечной инсоляцией поверхности морской воды и суши.

Внутренне строение Земли в настоящее время недоступно для прямых физических измерений, но некоторые параметры состояния вещества астеносферы отражаются в геометрии фигуры Земли и ее физических полях: в гравитационном, электромагнитном и сейсмическом. Наиболее эффективно физика внутренних пород (плотность и температура) отражается в гравитационном поле – в форме ондуляций геоида и поведении изостатических аномалий силы тяжести.

Как уже было сказано, состояние климата определяется многочисленными природными факторами. Причины и следствия некоторых из них имеют прямую связь. Так, например, потепление климата приводит к таянию ледников. Что произойдет с Землей, когда Антарктида и Гренландия освободятся ото льда? Уровень моря (геоида) повысится примерно на 100 м. В СМИ рисуют топографическую карту Земли, считая, что слой воды равномерно по всей планете затопит поверхность рельефа. Этого не произойдет по следующим причинам.

Общая масса Земли при этом не изменится, но произойдет перераспределение массы рельефа поверхности, что повлечет за собой изменение уровня и характера поверхности геоида. Интегральное значение потенциала силы тяжести и самой силы тяжести останутся при этом неизменными. Но изменится распределение (характер) полей геоида и силы тяжести на поверхности планеты.

Большая часть растаявшей воды соберется в экваториальной части Земли, увеличив ее радиус, что приведет к уменьшению скорости вращения Земли и

увеличению ее сжатия. Как следствие, возникнут постоянно действующие инерциальные силы в астеносфере и в ядре Земли, что вызовет активизацию тектонических процессов и латеральное смещение масс астеносферы и континентов.

Изменение формы геоида вызовет изменение направления силы тяжести (линии отвеса), т.е. произойдут изменения уклонения отвеса от существующих параметров и это вызовет появление новых горизонтальных ускорений внутри литосферы.

## **Выводы**

Итак, вследствие таяния Антарктиды и Гренландии активизируются тектонические рифтовые разломы с выделением теплового потока и это будет дополнительным фактором повышения температуры климата на планете. Возможно, это уже и происходит с нашей планетой, ведь нам неизвестно каков был уровень геоида и его ондуляции 10 – 12 тыс. лет назад. В настоящее время можно теоретически вычислить какой будет поверхность Земли после исчезновения ледяного покрова в Антарктиде и Гренландии. Но процесс повышения температуры имеет обратную связь, заключающуюся в том, в атмосфере Земли увеличится облачность и, как следствие, коэффициент отражения солнечной радиации, что в результате, приведет к равновесию теплового баланса Земли.

При чтении многочисленных публикаций об изменении климата можно заметить, что следующие природные явления, происходящие непосредственно на/в Земле, редко учитываются при этих исследованиях:

1. Не встречаются упоминания о влиянии прецессии и нутации земной оси на тектоническую активность планеты.
2. Не учитывается роль вертикальных движений земной коры вследствие таяния ледникового покрова последнего оледенения в высоких широтах северного полушария (например, в Фенноскандии) и увеличения сейсмической активности этих регионов.
3. Не рассматриваются потенциал и возможности океанов в нагревании воды за счет увеличения теплоотдачи глубинных разломов (черных курильщиков). Чаще всего пишут, что именно внешняя температура прогревает океан (в том числе и в Северном Ледовитом океане).
4. Не рассматривается эффект Джоуля-Томсона дегазации углеводородных газов как источник нагревания дна Северного Ледовитого океана [3].

## **Библиография**

1. Богоявленский В.И., Сизов О.С., Богоявленский И.В., Никонов Р.А., Каргина Т.Н. Дегазация Земли в Арктике: комплексные исследования и распространения бугров пучения и термокарстовых озер с кратерами выбросов газа на полуострове Ямал. Арктика: экология и экономика № 4 (36), 2019.
2. Богоявленский В.И. Пейзаж, нарисованный газом (интервью). Газета МК 03.11.20, с. 6.
3. Ларин В.Н. Наша Земля. М.Агар, 2005.
4. Мельников В.П. Смутьский И.И. Астрономические факторы воздействия на криосферу Земли и проблемы их исследования// Криосфера Земли, 2004, т. VIII, № 1, с. 3-14

5. Сывороткин В.Л. О геологической позиции Эль-Ниньо. Электронное научное издание Альманах Пространство и время. Т.3, вып.1. 2003.
6. Сывороткин В.Л. Глубинная дегазация и глобальные катастрофы. М: ЗАО «Геоинформмарк», 2002, 250с.
7. Сывороткин В.Л. Состояние озонового слоя и погодные аномалии в Северном полушарии весной и летом 2017.
8. Эзау И. О глобальном потеплении и методах его исследования и прогноза. Троицкий вариант – Наука, № 2 , 2020

*Исследования магнитной восприимчивости почвенного покрова территории золоторудного месторождения Вьюн (Республика Саха-(Якутия))  
Мишанькин А.Ю.\* (Национальный исследовательский Томский политехнический университет, [andreyka.mishankin@mail.ru](mailto:andreyka.mishankin@mail.ru)), Язиков Е.Г. (Национальный исследовательский Томский политехнический университет, [uzikovveg@tpu.ru](mailto:uzikovveg@tpu.ru)),  
Филимоненко Е.А. (Тюменский государственный университет, [efilimonenko@mail.ru](mailto:efilimonenko@mail.ru))*

## **Аннотация**

Данный тезис посвящён исследованию магнитной восприимчивости почвенного покрова золоторудного месторождения Вьюн (Республика Саха-(Якутия)).

Магнитная восприимчивость – важная характеристика природных компонентов рудных объектов, в том числе почвенного покрова, т.к. именно этот параметр позволяет судить о примерных концентрациях металлов группы железа, которые зачастую связаны с оруденением.

Кроме того, каппаметрия (измерение магнитной восприимчивости) является широко применимым методом в практике мониторинговых работ на территориях различных объектов (города, промышленные предприятия и т.д.).

## **Ключевые слова**

Магнитная восприимчивость, каппаметрия, почвенный покров, золоторудное месторождение Вьюн.

## **Теория**

Измерение магнитной восприимчивости (каппаметрия) – один из наиболее распространенных методов характеристики магнетизма почв [1, 2, 8, 9]. Теоретической основой исследований послужили идеи и принципы эколого-геохимической оценки почв, разработанные М.А. Глазовской [3], В.В. Добровольским [4] и др., а также учитываются результаты магнито-геохимических исследований Э.А. Молоствовского [5].

Тяжелые металлы в почвах тесно ассоциированы с магнетитом, маггемитом и другими ферримангнетиками, что позволяет использовать методы изучения магнитных свойств почвенного покрова для диагностики загрязнения почв [8], а также в практике эколого-геохимических и поисковых работ для выявления потенциальных ореолов рассеяния рудных тел.

В данной работе изучалась магнитная восприимчивость почв территории золоторудного месторождения Вьюн (Верхоянский район Республики Саха-(Якутия)), которое входит в состав Эльгенджинского рудно-россыпного узла Адычанской золотоносной зоны.

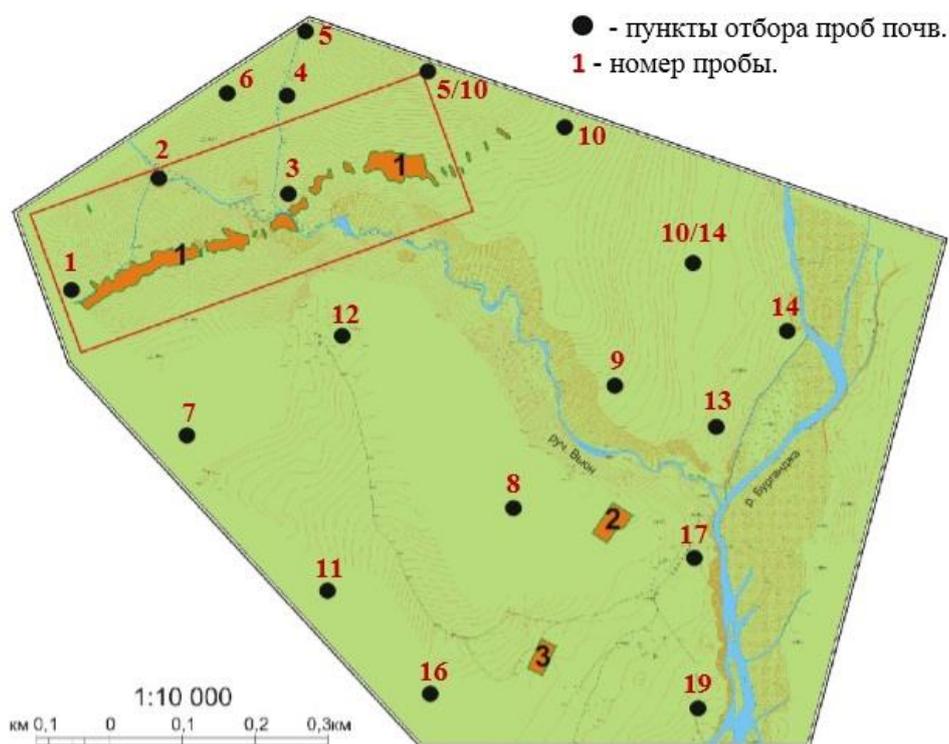
Район месторождения характеризуется среднегорным рельефом, который местами доходит до высокогорного, относится к субарктической зоне с суровым резко-континентальным климатом с продолжительной суровой зимой и умеренно теплым коротким летом.

Район исследований характеризуется сплошным распространением многолетнемерзлых пород мощностью от 200 до 350 м. Глубина сезонного протаивания грунтов не превышает 1 м.

Руды месторождения относятся к малосульфидному золото-кварцевому типу, имеют довольно простой минералогический состав. Промышленная золотоносность руд определяется Au-пирит-арсенопиритовым и Au-халькопирит-галенитовым парагенезисами. Среди рудных минералов преобладает арсенопирит, реже встречаются пирит, галенит, сфалерит, халькопирит, самородное золото [7].

Изучаемая территория по почвенно-географическому районированию относится к Верхоянской провинции очень холодных мерзлотных почв подзоны глее-мерзлотно-таёжных почв северной тайги. Почвы характеризуются низким естественным плодородием и не представляют большой ценности с сельскохозяйственной точки зрения. Основная их ценность заключается в обеспечении нормального функционирования наземных экосистем и сохранении условий существования зональных видов животного и растительного мира.

Пробы почв на территории месторождения отбирались с верхнего горизонта (0-10) см. Всего было отобрано 19 проб почвенного покрова. Схема отбора проб приведена на рисунке 1.



**Рисунок 1.** Схема пунктов отбора проб почвенного покрова на территории золоторудного месторождения Выюн. Чёрные цифры на карте: 1 – зона локализации рудного тела; 2 – вахтовый посёлок; 3 – склад горюче-смазочных материалов (ГСМ).

Капаметрия почв проводилась в лабораторных условиях с использованием измерителя магнитной восприимчивости (капаметра) КМ-7 (Czech Republic) в МИНОЦ «Урановая геология» Томского политехнического университета, согласно патента РФ № 2133487 [6]. Для измерений использовалась специальная кювета из не магнитного материала, которая позволяла выдерживать одинаковый объем пробы. Для каждой

пробы определялся вес, а затем проводилось определение магнитной восприимчивости в режиме трехкратного измерения для исключения ошибки. Среднее значение принималось в расчет. Результаты измерений приведены в таблице 1.

В целом, значения магнитной восприимчивости почвенного покрова по месторождению имеют ровный характер. Необходимо отметить, что данная характеристика зависит от содержания в почвах основных элементов группы железа (хрома, железа, кобальта, никеля). Содержания данных элементов в почвах месторождения также приведены в таблице 1.

Наиболее выделяется значение для пункта отбора почвы № 7 ( $0,029 \text{ n} \times 10^{-3} \text{ СИ}$ ). Выявление причин этого повышенного значения требует дополнительного анализа.

Таблица 1.

Величины магнитной восприимчивости почвенного покрова на территории золоторудного месторождения Вьюн.

№ пробы	Величина магнитной восприимчивости, $\text{n} \times 10^{-3} \text{ СИ}$	Содержание основных элементов группы железа в почвах			
		Cr, мг/кг	Fe, %	Co, мг/кг	Ni, мг/кг
<b>1</b>	<b>0,013</b>	160	4,97	28	74
<b>2</b>	<b>0,010</b>	150	4,93	23	67
<b>3</b>	<b>0,020</b>	210	6,9	40	52
4	0,015	130	4,15	11	43
5	0,015	98	4,47	14	55
5/10	0,016	140	5,02	24	49,7
6	0,016	180	4,85	25	63
7	0,029	130	3,74	14	34
8	0,012	39	1,34	17	19
9	0,011	130	4,41	16	26
10	0,014	160	3,8	7,3	11
10/14	0,018	100	4,22	9	25
11	0,009	130	4,75	13	28
12	0,003	47	1,9	6,3	10,2
13	0,006	66	4,51	6,7	2,4
14	0,014	93	5,47	12	31
16	0,006	104	4,03	21	35
17	0,006	160	5,06	22	48
19	0,010	160	4,52	9,5	47
<i>Среднее по месторождению</i>	<i>0,013</i>	<i>125,6</i>	<i>4,4</i>	<i>16,8</i>	<i>37,9</i>

Примечание: жирным шрифтом выделены пробы и величины магнитной восприимчивости, относящиеся к рудной зоне месторождения.

## Выводы

Таким образом, в рамках данной работы были проведены исследования величины магнитной восприимчивости почвенного покрова территории золоторудного месторождения Вьюн (Республика Саха-(Якутия)) методом каппаметрии. Хотелось бы отметить, что в тезисе отражены результаты первого этапа работ. В дальнейшем планируется провести детальное сопоставление концентраций основных элементов

группы железа (хрома, железа, кобальта, никеля) в почвах и величины магнитной восприимчивости, статистическую обработку данных, построение схем распределения величин магнитной восприимчивости и основных элементов группы железа по площади месторождения.

Также стоит обратить внимание на тот факт, что в контексте поисковых работ и эколого-геохимических исследований, в рамках которых и проводилась каппаметрия почв, подобная методика работ позволяет снизить общие экономические затраты на аналитику, т.к. зная величину магнитной восприимчивости, можно с определённой долей уверенности утверждать о величинах концентраций тяжёлых металлов группы железа, и направлять на детальные анализы именно те пробы, которые выделяются наиболее высокими значениями. Особенно ценным это представляется для обширных по площади территорий, где необходима организация площадной системы отбора проб компонентов природной среды, в том числе и почвенного покрова.

### **Библиография**

1. Бабанин В.Ф., Трухин В.И., Карчевский Л.О., Иванов А.В., Морозов В.В. Магнетизм почв: монография. М.: Ярославль, 1995. – 222 с.
2. Васильев А.А., Лобанова Е.С. Картограмма магнитной восприимчивости почвенного покрова города Перми / Пермский аграрный вестник. – 2013. – №3 (3). – С. 24–27.
3. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР: учебное пособие. – М.: Высшая школа. – 1988. – 328 с.
4. Добровольский В.В. Ландшафтно-геохимические критерии оценки загрязнения почвенного покрова тяжёлыми металлами // Почвоведение. – 1999. – № 5. – С. 639–645.
5. Молоствовский Э.А. Петромагнитная индикация техногенного загрязнения урбанизированных территорий // Проблемы геоэкологии Саратова и области. – Саратов. – 1996. – Вып. 1. – С. 25–32.
6. Пат. 2133487 Россия, МПК6 G 01 V 9/00. Способ определения техногенной загрязнённости почвенного покрова тяжёлыми металлами группы железа (железо, кобальт, никель) / Язиков Е.Г., Миков О.А.; заявитель и патентообладатель. Томский политехн. ун-т. – № 98100689; заявл. 08.01.98; опубл. 20.07.99.
7. Протопопов Р.И., Сулейманов А.М., Пичугин Е.П. и др. Подсчет запасов золоторудного месторождения Вьюн в Верхоянском улусе Республики Саха (Якутия) по состоянию на 01.01.2009 г, в 3-х книгах. Книга 1. – 175 с.
8. Язиков Е.Г., Таловская А.В., Жорняк Л.В. Оценка эколого-геохимического состояния территории г. Томска по данным изучения пылеаэрозолей и почв: монография. Томск: Изд-во ТПУ, 2010. – 264 с.
9. Wang X.S. Magnetic properties and heavy metal pollution of soils in the vicinity of a cement plant, Xuzhou (China) // Journal of Applied Geophysics. – 2013. – Vol. 98. – P. 73–78.

**Алгоритмы классификации многомерных наблюдений в задачах районирования территории по данным гравиразведки и магниторазведки**

**Муфазалова Р.И.\* (МГРИ, [mufazalova.rimta@mail.ru](mailto:mufazalova.rimta@mail.ru)), Петров А.В. (МГРИ, [petrovstud@mail.ru](mailto:petrovstud@mail.ru)), Фан Т. Х. (МГРИ, Ханойский горно-геологический университет Вьетнама, [phanthihong@humg.edu.vn](mailto:phanthihong@humg.edu.vn))**

### Аннотация

В статье рассматриваются оригинальные, классификационные алгоритмы, ориентированные на решения задачи районирования исследуемых площадей на однородные области по нескольким геолого-геофизическим признакам и их атрибутам.

Компьютеризация геологоразведочного процесса делает возможным включать в процесс интерпретационной обработки геолого-геофизической информации новые алгоритмические решения, базирующиеся на достижениях современной математики и математической статистики.

Особое внимание уделяется вопросам особенностей геолого-геофизической информации, выбору оптимальной совокупности признаков для проведения районирования территорий и оценке корреляционных связей между разными признаками.

Приводится описание программных реализаций классификационных алгоритмов в компьютерной технологии статистического и спектрально-корреляционного анализа данных «КОСКАД 3D» и результаты районирования исследуемых территорий по данным гравиразведки и магниторазведки.

### Ключевые слова

Кластерный анализ, районирование, «КОСКАД 3D», интерпретационная обработка геолого-геофизической информации.

### Теория

Одной из востребованных задач прикладной геологии и геофизики является процедура районирования исследуемых территорий по определенным геологическим параметрам, геофизическим полям и их атрибутам. В прикладной геологии и геофизике широко используются результаты геологического, тектонического, гидрогеологического, сейсмического, нефтегазогеологического и многих других районирований территорий. По сути, построение геологической карты также можно считать решением задач районирования территории. Во всех случаях, задача районирования сводится к разбиению исследуемой площади на области, однородные по одному или нескольким геолого-геофизическим параметрам и их атрибутам. До появления современных компьютеров и соответствующих программных комплексов задача районирования территорий являлась достаточно трудоемкой, а в некоторых случаях просто невыполнимой. Так, например, районирование территории по двум атрибутам, например, магнитному и гравитационному полям можно было выполнить без компьютера. Но реализовать процедуру районирования территории по трем и более геологическим или геофизическим атрибутам было практически невозможно. Также, необходимо отметить, что задача геологического районирования является некорректной,

то есть, допускает много правомерных решений, часто базирующихся только на логике и интуиции интерпретатора.

С другой стороны, в современной математике существует раздел, получивший название кластерного анализа, в котором рассматривается широчайший спектр алгоритмов, предназначенных для решения подобного рода задач – разбиения многопризнаковых наблюдений на однородные по совокупности признаков множества (кластеры).

В компьютерной технологии статистического и спектрально-корреляционного анализа данных «КОСКАД 3D» реализованы четыре классификационных алгоритма – метод общего расстояния, K-средних, разделения многомерных нормальных смесей и знаковой классификации [1,2,5].

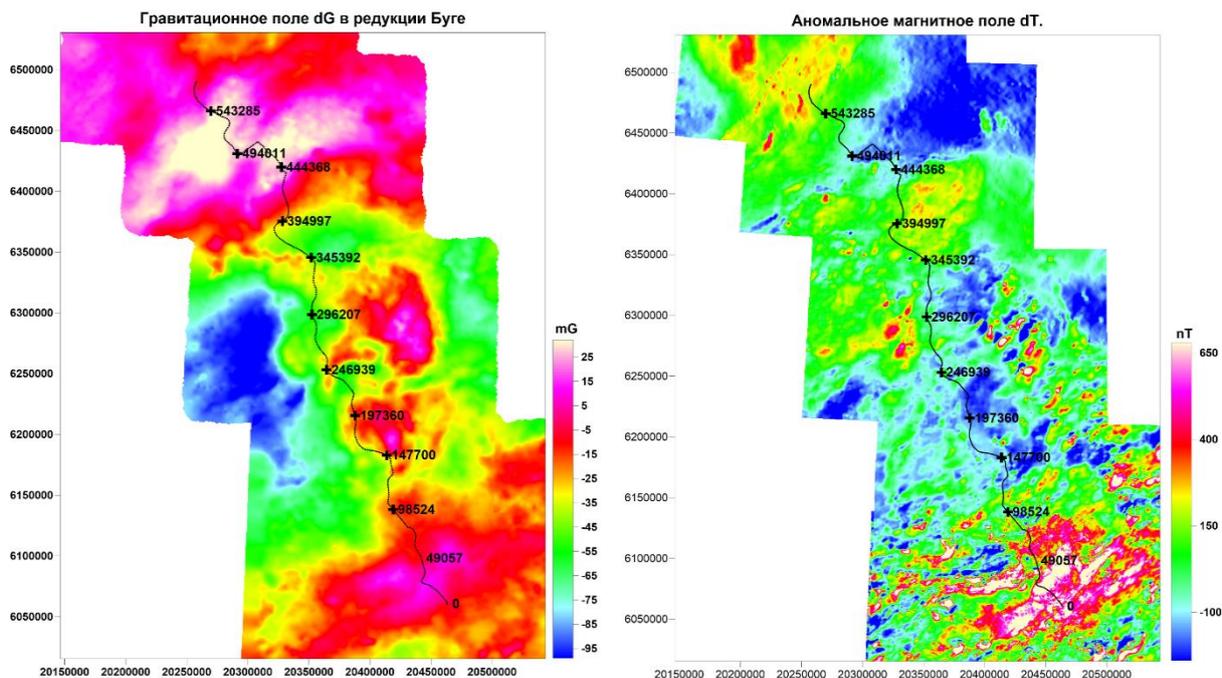
Первый алгоритм является иерархическим и базируется на элементах теории графов, второй реализует достаточно распространенный алгоритм K-средних, третий построен на проверке многомерных статистических гипотез, а четвертый построен чисто эмпирически.

Выбор алгоритмов, проводился с учетом особенностей исходной, координатно-привязанной геолого-геофизической информации и необходимости учета корреляционных связей между отдельными элементами признакового пространства. Так, в алгоритме K-средних, в качестве расстояния между отдельными элементами используется расстояние Махаланобиса, учитывающее корреляционные связи в признаковом пространстве [3]. В методе разделения многомерных нормальных смесей в качестве расстояния используется статистика следа ковариационной матрицы, также учитывающее корреляционные связи между признаками [4].

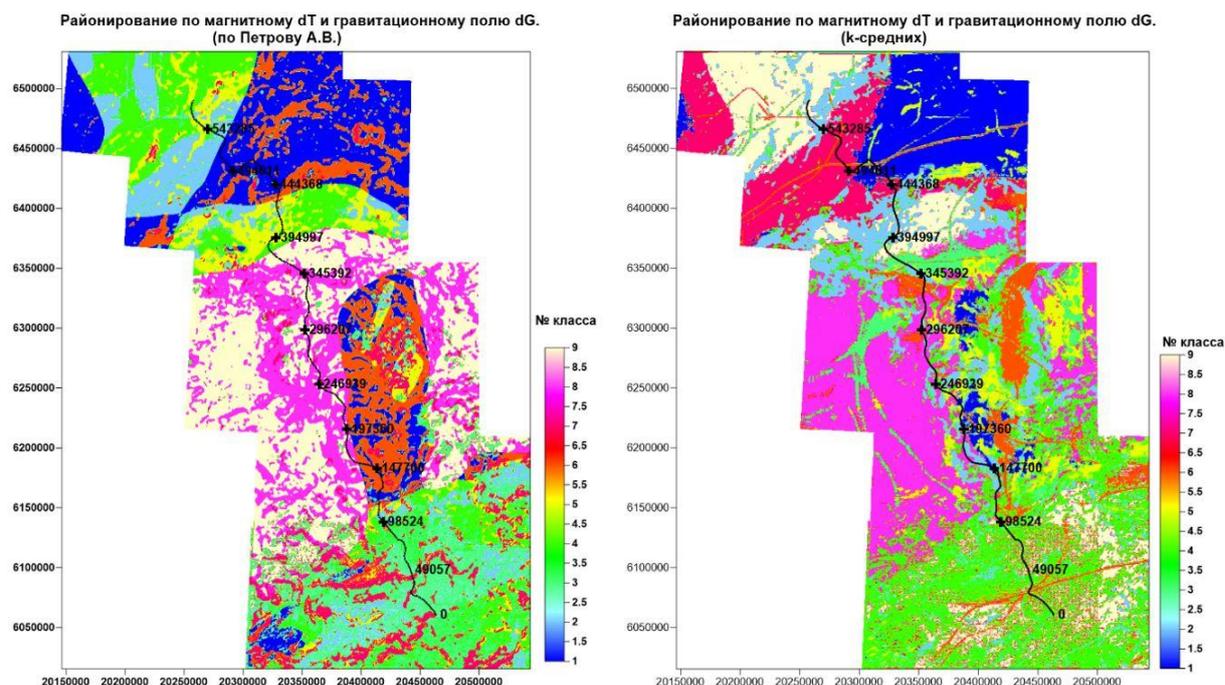
Другим критерием включения описанных классификационных методов в компьютерную технологию статистического и спектрально корреляционного анализа данных «КОСКАД 3D», является требование не противоречивости, получаемых конечных результатов районирования, при использовании разных алгоритмов. Результаты районирования разными методами должны лишь дополнять, полезную для интерпретатора информацию.

В качестве иллюстрации использования классификационных алгоритмов для решения задачи районирования исследуемой территории были взяты магнитное аномальное поле  $dT$  и гравитационное поле  $dG$  в редукции Буге в районе положения глубинного сейсмического профиля 1-СБ (Восточный, Байкало – Патомский участок) протяженностью 500 км.

На рисунке 1 приведены гравитационное и магнитное поля с положением глубинного сейсмического профиля 1-СБ. На рисунке 2 изображены результаты районирования территории по магнитному и гравитационному полю с использованием методов K-средних и разделения многомерных нормальных смесей.



**Рисунок 1.** Гравитационное поле  $dG$  в редукции Буге (слева) и аномальное магнитное поле  $dT$  (справа).



**Рисунок 2.** Результат районирования территории с использованием метода  $K$ -средних (справа) и разделения многомерных нормальных смесей (слева).

В результате районирования с использованием классификационных алгоритмов исследуемая территория, в обоих случаях, была разбита на девять однородных по магнитному и гравитационному полю областей. На рисунках каждая из таких областей окрашена определенным цветом.

Хотелось бы отметить, что несмотря на совершенно разный математический аппарат, используемый в двух алгоритмах для решения задачи районирования по

комплексу геофизических признаков, в конечных результатах не наблюдается критических противоречий, что подтверждает надежность и поучаемых решений.

## **Выводы**

Анализ полученных результатов позволяет разделить исследуемую площадь на три крупных блока – северную, центральную и южную. Внутри каждого из блоков, в результатах обеих классификаций, выделяются более мелкие структуры меньших размеров.

Полученные результаты районирования исследуемой территории по данным гравиразведки и магниторазведки, содержат неоценимую, достоверную информацию о распределении магнитных и плотностных масс в земной коре, что повышает надежность принятия конечных решений в широком спектре задач прикладной геологии и геофизики.

## **Библиография**

1. Никитин А. А., Петров А. В. Теоретические основы обработки геофизической информации. Учебное пособие. 2017. Москва 127с.
2. Петров А. В., Юдин Д. Б., Соели Хоу. Обработка и интерпретация геофизических данных методами вероятностно-статистического подхода с использованием компьютерной технологии «КОСКАД 3D». Науки о Земле, N0 2, С. 2010. 126-132.
3. Петров А. В. Адаптивные процедуры интерпретационной обработки нестационарных геополей в компьютерной технологии «КОСКАД-3D». Международная научно-практическая конференция. 2018. 418-420, МГРИ-РГРУ, Москва, Россия.
4. Фан Т. Х., Петров А. В., До М. Ф. Обработка и интерпретация аномалий гравитационных данных в центральной области Вьетнама с использованием компьютерной технологии «КОСКАД-3D». Молодые – наукам о земле, 2020. 293-297, МГРИ-РГРУ, Москва, Россия.
5. <http://www.coscad3d.ru>.

**Примеры применение нейронных сетей в нелинейных обратных задачах геофизики**  
**Оборнев И.Е.\* (НИИЯФ МГУ, МГРИ, o\_ivano@mail.ru), Шимелевич М.И.**  
**(МГРИ, shimelevich-m@yandex.ru), Оборнев Е.А. (МГРИ, obornevea@mail.ru),**  
**Родионов Е.А. (МГРИ, evgeny\_980@list.ru)**

## Аннотация

Нейронные сети широко используются при решении различного рода задач интерпретации и обработки геофизических данных. В настоящей работе рассматриваются вопросы применения аппроксимационного нейросетевого (АНС) метода для решения обратных, в том числе многокритериальных задач геофизики, которые сводятся к нелинейному операторному уравнению I рода (соответственно к системе операторных уравнений). АНС метод заключается в построении приближенного обратного оператора задачи с помощью нейросетевых аппроксимационных конструкций (MLP сетей) на основе заранее построенного множества опорных решений прямых и обратных задач. Приводится обзор применения АНС метода при решении обратных нелинейных задач геофизики.

## Ключевые слова

Геофизика, обратная задача, аппроксимация, нейронные сети, комплексирование.

## Источники финансирования

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (проект № 19-11-00333).

## Теория

Одно из важнейших практических приложений нейронных сетей связано с их аппроксимационными и интерполяционными свойствами, что делает их эффективным инструментом задач вычислительной математики. Начиная с 90-ых годов прошлого столетия, нейронные сети начинают применяться при решении обратных коэффициентных задач математической физики и, в частности, задач геофизики. В этих методах неизвестный обратный оператор задачи представляется в виде аппроксимационной конструкции (нейронной сети) с неопределёнными коэффициентами, которые вычисляются в процессе обучения на предварительно построенном множестве опорных решений прямых (а значит и обратных) задач. По терминологии В.И. Дмитриева [Дмитриев, 2012, стр.51] этот алгоритм можно назвать «методом подбора на банке решений», а обученная нейросеть является приближенным аппроксимирующим оператором.

С помощью построенного таким образом обратного нейросетевого оператора (НС аппроксиматора) может быть получено интерполяционное решение обратной задачи для произвольных входных данных, не принадлежащих обучающему множеству, сравнительно быстро (обычно за первые секунды). Данный метод называют аппроксимационным нейросетевым (АНС) методом. Здесь уместна аналогия АНС метода инверсии на множестве опорных решений с механизмами обработки изображений головным мозгом человека. В нейрофизиологии считается, что за единицу времени на сетчатке получается неполное изображение объекта (например, движущегося

автомобиля у пешехода на дороге), состоящее из сегментированного конечного числа объектов, накопленных прошлым опытом (в рассматриваемом случае - известных решений обратной задачи), мозг обрабатывает (нейросеть интерполирует и экстраполирует на «банке данных») и выдаёт некоторое «дополненное» изображение (ответ нейросети).

Нейронные сети широко используются при решении различного рода задач интерпретации и обработки геофизических данных. В настоящей работе мы ограничиваемся рассмотрением НС методов применительно к проблеме решения нелинейных обратных задач геофизики, в том числе многокритериальных, которые сводятся к нелинейному операторному уравнению I рода (соответственно к системе операторных уравнений) [Тихонов, Арсенин, 1979; Лаврентьев и др. 1980]. В работе даётся краткое описание НС методов поиска приближенных решений операторных уравнений с оценкой практической неоднозначности (погрешности) получаемых решений [Шимелевич и др. 2018]; приводится обзор применения этих методов в литературе.

Представляются новые результаты авторов [Оборнев и др. 2020], связанные с применением АНС метода для решения обратной многокритериальной 2D задачи восстановления границ слоистого разреза с известными физическими параметрами слоя (структурная двумерная обратная задача) по комплексу данных измерения гравиразведки, магниторазведки и электроразведки. Общее число неизвестных параметров, определяющих геометрию границ в данной задаче составило 60 значений. Основываясь на обзоре по открытым источникам, подобная постановка задачи ранее не рассматривались в известных авторам публикациях.

Для данной задачи была выбрана схематическая синтезированная 5ти—слойная 2D модель разреза, типичная для норильского района. 2 слой может выклиниваться и присутствует в 30% случаев. Для всех выбранных методов исследования были заданы соответствующие (постоянные) значения физических параметров в слое и единые пределы изменения границ в каждом слое, соответствующие значениям из таблицы 1.

Таблица 1.  
Описание схематической синтезированной модели 5ти—слоистой 2D разреза

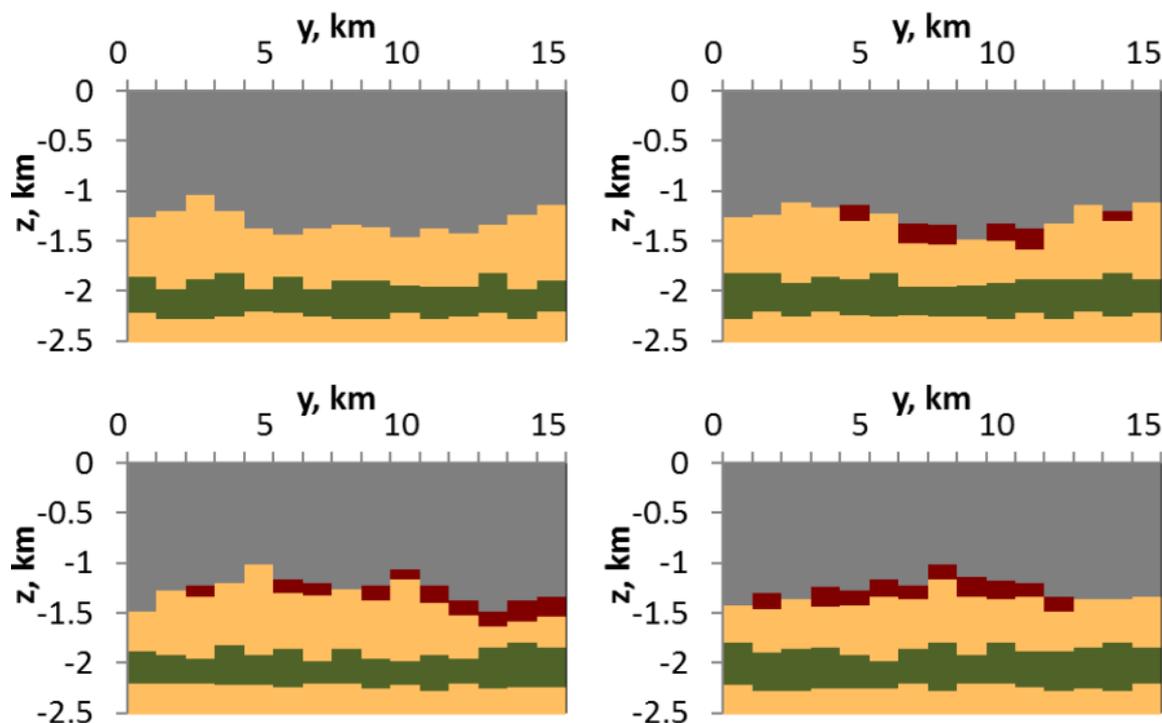
№ слоя	Имя	Подошва мин— макс, км	Мощность мин— макс, км
1	Базальтовая толща	1 – 1.48	1 – 1.48
2	Рудные отложения	1 – 1.68	0 – 0.20
3	Терригенно карбонатными отложениями тунгусской серии	1.8 – 1.98	0.32 — 0.98
4	Габбро—долериты массивные медно— никелево—платиновые руды	2.2 — 2.28	0.22 — 0.48
5	Терригенно карбонатными отложениями тунгусской серии	—	—

Одна модель занимает одну строку – запись БД в виде соотношения <Параметры среды> <Поле>, и представляет собой таблично заданные вектор—функции

$P(x,z)=S(s_1, \dots, s_N)$  параметров среды и  $F(y,z=0, w=w_1) = E(e_1, \dots, e_M)$  значения соответствующего поля. Полный вектор поля (76 значений) подаётся на вход, а на выходе один параметр. Тем самым для полного решения задачи используется набор (комплекс) MLP—сетей позволяющий восстановить весь разрез в целом. Каждая БД включает в себя 10000 решений. Для проверки гипотез бралась БД – 10000 примеров. Разбиение 70%—25%—5% тренировочное (валидационное, тестовое) множество соответственно.

Использовались нейронные сети (НС) типа многослойный персептрон (МСП, MLP) с тремя скрытыми слоями (32+16+8 нейронов). В скрытых слоях использовалась логистическая передаточная функция, в выходном слое – линейная. МСП обучался методом стохастического градиентного спуска с критерием остановки – 500 эпох после минимума ошибки на валидационном наборе данных. Каждый МСП обучался по 5 раз с различными инициализациями весов, статистики применения усреднялись.

На рис.1 приведены примеры распределений мощностей слоёв различных синтетических моделей из общего «банка решений» для трёх методов.



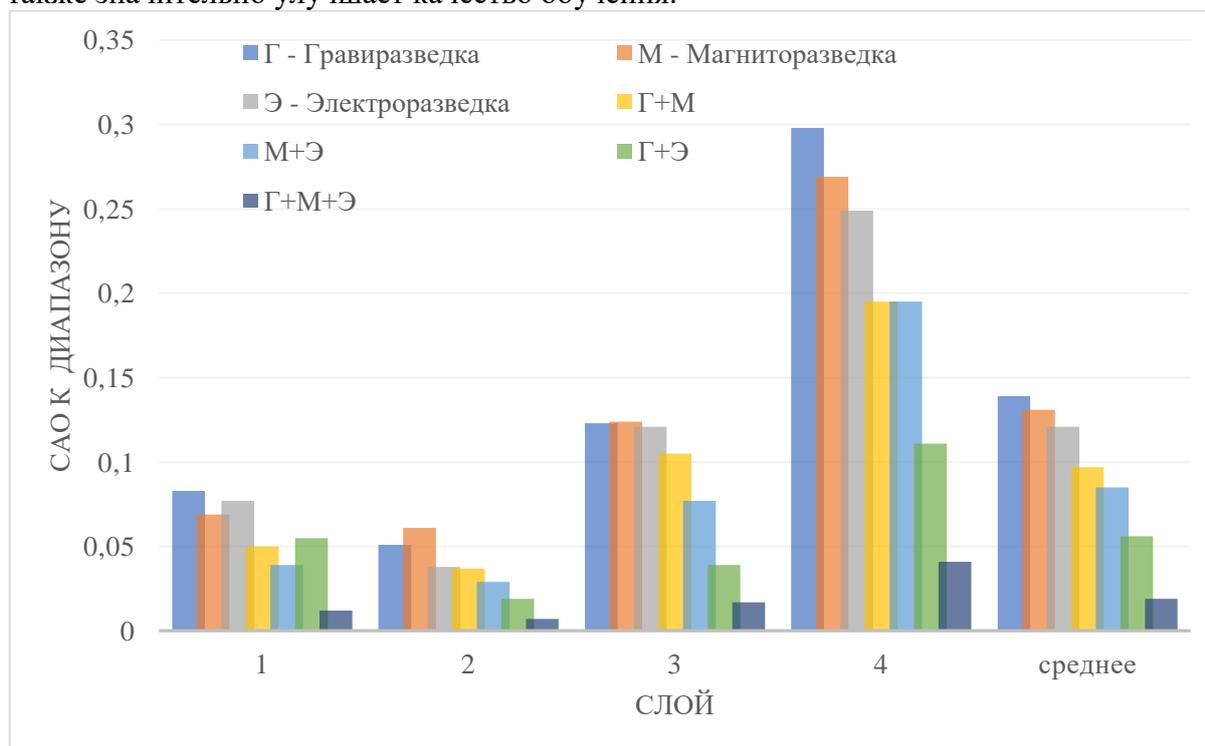
**Рисунок 1.** Примеры распределений из базы данных. Слои нумеруются сверху вниз. Второй слой, обозначенный бардовым цветом, может выклиниваться - полностью отсутствовать (см. пример сверху слева).

На рис.2 представлены результаты средней абсолютной ошибки (САО), нормированной на диапазон изменения искомого параметра (1), полученной после обучения и применения к тестовым данным 7 различных НС-аппроксиматоров для каждого слоя и в среднем по всему разрезу

$$\|s - s'\|_{l_1}^N = \sum_{n=1}^N \frac{1}{D_s} \frac{1}{N} |s_n - s'_n| = \frac{1}{D_s N} \sum_{n=1}^N |s_n - s'_n| \quad (1)$$

$D_s$  - диапазон изменений,  $N$  – число параметров.

Как видно из рис.2 комплексирование любых двух методов всегда лучше, чем рассмотрение каждого метода по отдельности. Комплексирование всех трех методов также значительно улучшает качество обучения.



**Рисунок 2.** Результаты комплексирования геофизических методов при нейросетевом решении обратной задачи восстановления границ слоистого разреза (рис.1) с помощью 7 различных НС-аппроксиматоров, построенных на выборках из общего «банка решений» по данным: Г-гравиразведки, М-магниторазведки, Э-электроразведки и их комплексирования: Г+М, М+Э, Г+Э, Г+М+Э.

## Выводы

Приведённые в работе результаты позволяют сделать вывод о том, что за последние годы наблюдается заметный прогресс в области применения нейросетевых технологий при решении классических, в том числе многокритериальных, обратных задач геофизики.

## Благодарности

Работа выполнена с использованием вычислительных ресурсов Межведомственного суперкомпьютерного центра Российской академии наук (МСЦ РАН) и с использованием оборудования Центра коллективного пользования сверхвысокопроизводительными вычислительными ресурсами МГУ имени М.В. Ломоносова.

## Библиография

1. Дмитриев В. И. Обратные задачи геофизики. МГУ ВМК. - Москва : МАКС Пресс, 2012. 340 с.
2. Лаврентьев М.М, Романов В.Г., Шишатский С.П. Некорректные задачи математической физики и анализа. М.: Наука, 1980. 286 с.

3. Оборнев Е.А., Оборнев И.Е., Родионов Е.А., Шимелевич М.И. Применение нейронных сетей в нелинейных обратных задачах геофизики // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2020. Т. 60, № 6. С. 1053–1065.
4. Тихонов А.Н., Арсенин В.Я. Методы решения некорректных задач. М.: Наука, 1979. 288 с.
5. Шимелевич М.И., Оборнев Е.А., Оборнев И.Е., Родионов Е.А. Алгоритм решения обратной задачи геоэлектрики на основе нейросетевой аппроксимации // Сиб. журн. вычисл. матем., 2018. 21:4. С. 451–468.

***Использование геоэлектрической томографии при геокриологическом мониторинге теплового влияния водного бассейна водохранилища на криогенное состояние многолетнемерзлых грунтов берегового примыкания***

***Поезжаев О.С.\* (ВНИМС ИМЗ СО РАН, [oroezzhaev@gmail.com](mailto:oroezzhaev@gmail.com)), Минова Е.Н. (ВНИМС ИМЗ СО РАН, [minovaen14@mail.ru](mailto:minovaen14@mail.ru)), Вавилов С.А. (ВНИМС ИМЗ СО РАН, [rg413el@gmail.com](mailto:rg413el@gmail.com))***

**Аннотация**

Процессы обходной фильтрации возникают на участках береговых примыканий гидротехнических сооружений криолитозоны в результате техногенного нарушения естественного строения многолетнемерзлых толщ и климатических изменений. Подобные процессы могут являться причиной возникновения аварийных ситуаций. Поэтому необходимы наблюдения за развитием таких процессов в зоне взаимодействия гидротехнических сооружений, расположенных на территории криолитозоны, которая является наиболее уязвимой для антропогенных воздействий. В работе показаны возможности применения геоэлектрической томографии для картирования теплового влияния водного бассейна водохранилища на криогенное состояние многолетнемерзлых грунтов берегового примыкания на примере гидроуза на р. Сытыкан.

**Ключевые слова**

Гидротехническое сооружение, криолитозона, многолетнемерзлые породы, талый интервал, электротомография.

**Теория**

Сытыканский гидроузел расположен в Западной Якутии в зоне распространения многолетней мерзлоты. Он был создан в 1972-1974 годах для водоснабжения г. Удачный.

Вследствие оттаивания многолетнемерзлого сильнотрещиноватого полускального основания в 1995 г. произошел фильтрационный проскок через основание плотины и правый борт водохранилища. В оттаявших породах основания водосброса и правобережного примыкания плотины развивается по настоящее время фильтрационный поток с появлением фильтрационных выходов (грифонов и потоков-ручeyков) в зоне нижнего бьефа в правобережном примыкании. На настоящее время область фильтрационных процессов занимает значительную часть правобережного примыкания. Проведенными буровыми работами и геофизическими исследованиями выявлено, что правобережное примыкание гидроузла сложено сильнотрещиноватыми осадочными породами с высокой степенью льдистости. Выявленная высокая проницаемость полускальных пород, слагающих правобережное примыкание, по всей видимости, является причиной спонтанного разрастания талика в эту сторону.

Одним из наиболее опасных процессов с точки зрения устойчивости оснований гидротехнических сооружений в криолитозоне является деградация мерзлоты в связи с ее переходом в талое состояние. Оно в большинстве случаев сопровождается изменением ряда физических свойств, в том числе электрических, которые отличаются наибольшей чувствительностью к фазовым переходам вода-лёд. В связи с этим, применение электроразведочных методов в частности электротомографии, наиболее

перспективно для решения задач, связанных с выявлением и трассирование фильтрационных потоков, а так же участков деградации многолетнемерзлых пород [1].

При выполнении электрометрических исследований использовалась 10-канальная 72-электродная станция Syscal Pro-72 (электроразведочные косы по 90м). Шаг между электродами использовался в 5 м и 2,5 м, что позволило добиться подробной детальности верхней части разреза и достичь эффективной глубины исследования до 75 метров. Измерения на каждом геофизическом профиле выполнялись с помощью универсальной 4-х электродной установки Веннера-Шлюмберже (AMNB) и дипольно-осевой установки (ABMN). При этом высокая чувствительность дипольно-осевой установки к локальным, в том числе техногенным, субвертикальным неоднородностям в геологическом разрезе использовалась для дифференцирования ложных аномалий.

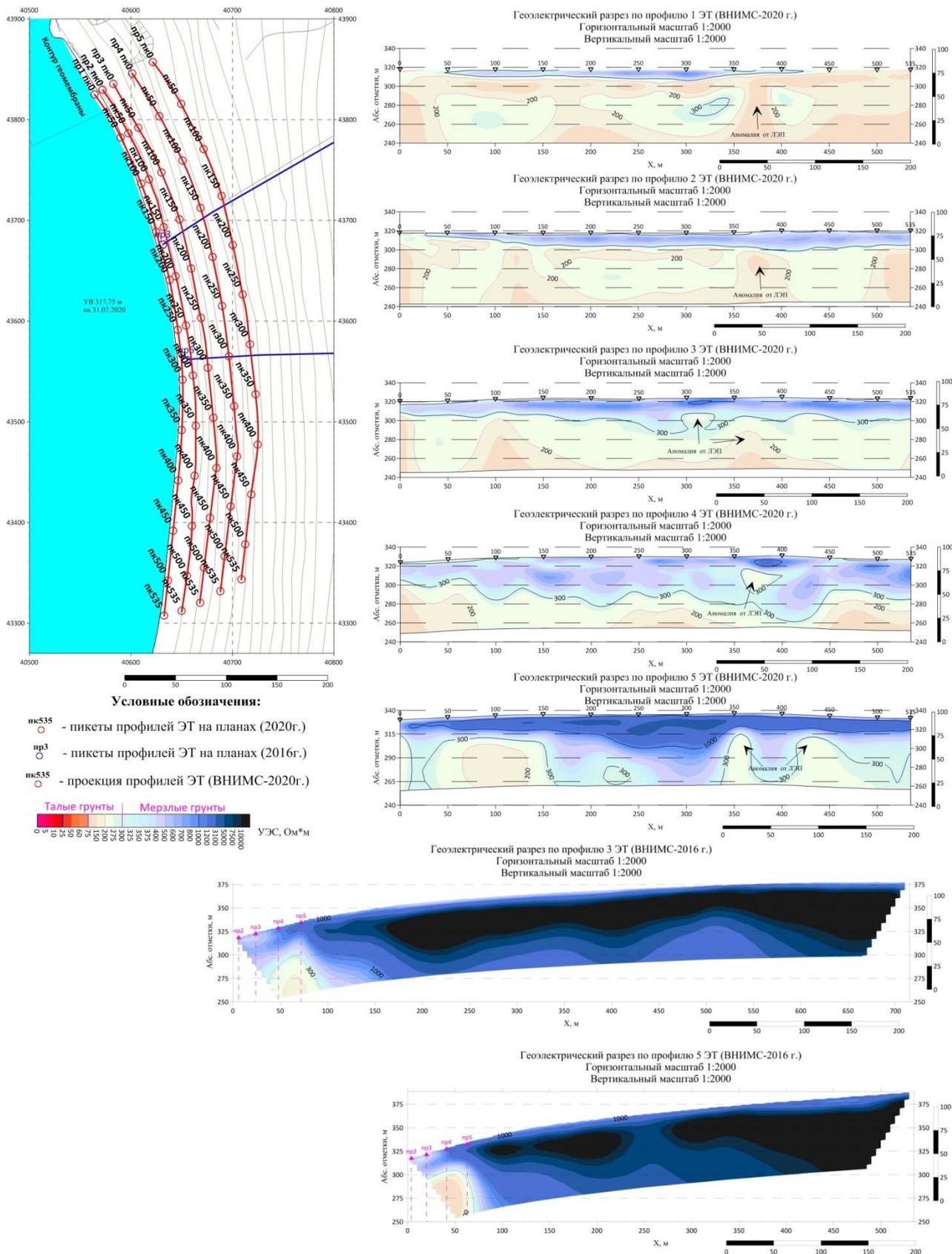
Основные процедуры обработки полевых материалов производились в программе ZondRes2D (А. Е. Каминский, СПбГУ).

Геоэлектрические разрезы (рисунок 1) на всем протяжении имеют двухслойное строение с горизонтальным простираем пластов. Наблюдается увеличение высокоомного слоя (УЭС более 300 Ом\*м) при удалении от уреза воды, так на профиле 3 его мощность составляет 10-30 м, а на профиле 4 уже более 50 м.

На всех геоэлектрических разрезах на геофизических пикетах 300-450 м, наблюдаются аномалии от ЛЭП. Также в районе пикета 0м, отмечается низкоомная зона, связанная с влиянием насосной станции.

Профиль 1 и 2 (рисунок 1) расположены вдоль правого берега водохранилища в непосредственной близости от воды. Важной особенностью, выделенной при интерпретации геоэлектрических разрезов, являются низкоомные зоны (УЭС менее 150 Ом\*м) на интервале абсолютных отметок 305-295 м, выделенные на профиле 1. Продолжение этих зон далее не прослеживается на остальных геоэлектрических разрезах. Положение данных зон, по большей части, совпадает с положением участков интенсивной фильтрации, обозначенных водлазными исследованиями 2008 года. За исключением отмеченных зон, профили характеризуются верхним высокоомным слоем (УЭС более 300 Ом\*м), свойственным мерзлым грунтам, мощностью 10-15 м и небольшими значениями удельного электрического сопротивления (УЭС 150-300 Ом\*м), вероятно, связанный с обводненными талыми грунтами, на протяжении остального интервала глубин.

Геоэлектрический разрез по профилю 5, находящийся в 70 метрах от берега водохранилища, отличается по всему интервалу глубин высокими значениями удельного электрического сопротивления (УЭС более 300 Ом\*м), значения такого порядка, вероятно, свойственны мерзлым грунтам. На геофизических профилях 50-150 м в интервале глубин 260-300 м прослеживается низкоомная зона с удельным электрическим сопротивлением менее 200 Ом\*м, вероятно, связанная с особенностями геологического строения.



**Рисунок 1.** Результаты исследования теплового влияния водного бассейна водохранилища на криогенное состояние многолетнемерзлых грунтов правобережного берегового примыкания.

В 2016 году специалистами ВНИМС ИМЗ СО РАН были выполнены профили 3 (ВНИМС 2016 г) и 5 (ВНИМС 2016 г) перпендикулярно правому берегу водохранилища от уреза воды и расположенные субпараллельно друг другу. Они пересекают профили 2-5 (ВНИМС 2020 г). расположение профилей представлена на рисунке 1.

### **Выводы**

Геоэлектрическая томография показывает отличные результаты при геоэлектрическом мониторинге теплового влияния водного бассейна водохранилища на криогенное состояние многолетнемерзлых грунтов берегового примыкания, так в результате интерпретации геоэлектрических разрезов 2016 и 2020 гг. наблюдается тенденция к понижению уровня кровли низкоомной зоны в восточном направлении перпендикулярно правому берегу водохранилища. Резкого изменения границы теплового влияния водного бассейна водохранилища на криогенное состояние многолетнемерзлых грунтов правобережного примыкания в период с 2016 по 2020 гг. не наблюдается.

### **Библиография**

1. Использование геоэлектрической томографии в задачах мониторинга состояния оснований гидротехнических сооружений в криолитозоне. Великин С.А., Чжан Р.В., Якимов А.А. В сборнике: Устойчивость природных и технических систем в криолитозоне. Материалы Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 60-летию образования Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН. Ответственные редакторы М.Н. Железняк, В.В. Шепелёв, Р.В. Чжан. 2020. С. 369-371.
2. Мониторинг природно-технических систем в криолитозоне Якутии. Шестернёв Д.М., Чжан Р.В., Кузьмин Г.П., Великин С.А., Павлова Н.А., Литовко А.В. В книге: Материалы XI Международного симпозиума по проблемам инженерного мерзлотоведения. Book of abstracts. 2017. С. 355.
3. Проектирование, строительство и эксплуатация гидротехнических сооружений низкого напора в криолитозоне (на примере Якутии). Р.В. Чжан. «Институт мерзлотоведения СО РАН», г. Якутск, г. 2000 П.И. Мельников. Строительство и эксплуатация гидротехнических сооружений в западной Якутии. «Наука», г. Новосибирск, г. 1979.
4. Электроразведка: пособие по электроразведочной практике для студентов геофизических специальностей. Под ред. В.К. Хмелевского, И.Н. Модина, А.Г. Яковлева. М., ГЕРС, 2005, 311 с.

***Инженерная сейсморазведка при картировании известняков касимовского яруса  
Московского артезианского бассейна***

***Романов В.В.\* (МГРИ, romanovv@mgri.ru)***

**Аннотация**

В работе освещены аспекты использования инженерной сейсморазведки при изучении состояния и глубины залегания известняков касимовского яруса Московского артезианского бассейна

**Ключевые слова**

Инженерная сейсморазведка, Московский артезианский бассейн, карст, подземные воды

**Теория**

Гидрогеологический разрез Московского артезианского бассейна представляет сложную гидродинамическую систему водоносных и водоупорных горизонтов и комплексов, имеющих взаимосвязь между собой, а также с поверхностными водами. Эксплуатационные водоносные горизонты и комплексы приурочены к трещинным карбонатным породам верхне-, средне-, и нижнекаменноугольного возраста. Мощность зоны пресных вод, как правило, составляет 300–350 м. Водоносные горизонты мезозойских и кайнозойских отложений маловодообильны, имеют местное значение[1]. Основными породами, слагающими разрез каменноугольных отложений Московской синеклизы, являются известняки, доломиты, местами, пески и песчаники, а водоупорные толщи состоят преимущественно из мергелей и глин[2]. Региональным водоупором бассейна являются средне-верхнеюрские глины, водовмещающими породами — известняки и доломиты касимовского и гжельских ярусов. Юрские глины образуют водонепроницаемую толщу, отделяющей четвертичные и меловые водоносные горизонты от каменноугольных, но многочисленные эрозионные размывы и существующая вертикальная гидродинамическая зональность в условиях интенсивной эксплуатации водоносных горизонтов карбона способствуют формированию нисходящих потоков подземных вод[5].

Подземные воды каменноугольного комплекса в центральной части МАБ, подвергаются интенсивной эксплуатации многочисленными водозаборами. За последние 65 лет произошли заметные изменения в качестве подземных вод бассейна. Интенсивный водоотбор для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения гидрогеологические условия каменноугольных горизонтов претерпели значительные изменения по отношению к естественным условиям, уровень подземных вод упал на 5–40 м[2].

Также увеличилась минерализация подземных вод, в частности за счёт возрастания концентрации гидрокарбонатов и хлоридов, кальция и натрия. Рост содержания гидрокарбонатов и кальция, общей минерализации может быть объяснен активизацией водообмена в депрессионных воронках и процессов выщелачивания в системе вода↔порода в водовмещающих известняках и доломитах[5].

Большое влияние на качество и количество подземных вод оказывают карстово-суффозионные процессы.

## Геофизика

При гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях активно применяются геофизические методы, позволяет повысить геологическую и экономическую эффективность работ, повысить качество и достоверность конечной продукции — геолого-геофизической информации [3]. Геофизические исследования применяются при картировании литологических границ и оценке степени защищенности подземных горизонтов, используемых для питьевого водоснабжения. Оценка степени защищенности производится путём выявления границ распространения юрских глин, экранирующих попадание атмосферных и техногенных вод в нижележащие горизонты.

При решении этих задач используется комплекс, включающий: разведочное бурение, сейсморазведку (МОВ-ОГТ, МПВ) и электроразведку (ВЭЗ, ЭТ, ВЭЗ-ВП). Трещиноватые карбонатно-терригенные образования Московского артезианского бассейна характеризуются удельным электрическим сопротивлением 2—10 Ом·м и пористостью от 2 до 7 %. Сейсмические и электрические свойства тесно связаны с основными водно-физическими и физико-механическими свойствами дисперсных и скальных грунтов. Данные о взаимосвязях используются как для оценки состава и состояния грунтов, интерпретации геофизических и решении мониторинговых задач [3].

В условиях крупных городов, таких как Москва, выполнение электроразведки затруднено из-за высокой интенсивности электромагнитного излучения и повсеместного использования твёрдого асфальтового и бетонного покрытия. На территории г. Москвы для картирования водоносных горизонтов и при изучении карстовых процессов активно применяется сейсморазведка МОВ-ОГТ, с использованием поперечных волн. Глубинность метода — до 100 м, разрешающая способность — 2-3 м по вертикали, 10–15 м — по горизонтали.

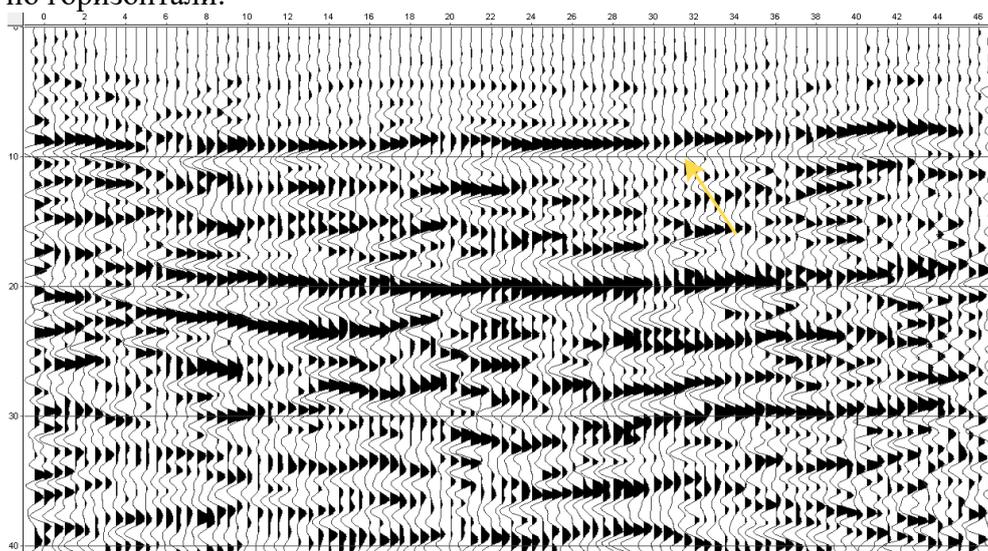


Рисунок 1. Выделение кровли известняков касимовского яруса (Москва)

Промерзание поверхности земли или наличие твёрдого покрытия формирует инверсный скоростной разрез, где первый от поверхности слой характеризуется повышенной скоростью ( $V_s = 1500\text{--}2500$  м/с). Инверсные разрезы благоприятны для регистрации поперечных горизонтально-поляризованных  $S_H$  отражённых волн.

Полевые работы МОВ-ОГТ рекомендуется выполнять в зимнее время, когда формируются сезонно-мёрзлые грунты. Для возбуждения поперечных упругих волн применяются разноправленные удары перпендикулярно линии профиля тяжёлой (8–10 кг) кувалдой. На твёрдом покрытии удары совершаются непосредственно по поверхности, под углом в 40–60°. В зависимости от уровня помех на одном пункте возбуждения производится 8 или 16 накоплений. Оптимальный шаг возбуждения — 4–6 м, пункт возбуждения перемещается вдоль неподвижной расстановки, на обоих концах расстановки добавляется несколько выносных пунктов для улучшения качества суммирования в зонах набора и сброса кратности. Оптимальная расстановка — 48 пунктов приёма с шагом через 1–2 м, длиной 46–94 м. Максимальная кратность 16–24 [4].

При выполнении инженерной сейсморазведки МОВ-ОГТ выполняются следующие задачи:

1. Картирование кровли скальных грунтов — карбонатных пород верхнего и среднего карбона
2. Картирование кровли юрских глин, установление эрозионных окон, через которые может происходить вертикальное движение подземных вод.

## **Выводы**

Инженерная сейсморазведка является эффективным инструментом исследования границ Московского артезианского бассейна. С помощью сейсморазведки также определяется состояние и физико-механические свойства водовмещающих и водоупорных грунтов.

## **Библиография**

1. Буянова А. В. Инженерно-геологические условия площадки изыскания под строительство административно-торгового здания с гостиницей в Домодедовском районе Московской области // Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Печеркинские чтения. – 2019. – С. 154-158.
2. Лиманцева О. А., Рыженко Б. Н., Черкасова Е. В. Модель формирования фтороносных вод в каменноугольных отложениях Московского артезианского бассейна // Геохимия. – 2007. – №. 9. – С. 981-998.
3. Матвеев В. С., Рыжов А. А. Роль геофизической информации в региональных гидрогеологических и инженерно-геологических исследованиях // Разведка и охрана недр. – 2007. – №. 5. – С. 56-64.
4. Романов В. В., Шнеерсон М. Б. Инженерная сейсморазведка методом отраженных волн в Москве // Геофизика. – 2018. – №. 6. – С. 75-81.
5. Фисун Н. В. и др. Оценка влияния поровых вод юрских глин на формирование подземных вод центральной части Московского артезианского бассейна // Недропользование XXI век. 2019. №. 6. С. 116-123.

***Построение комбинированной нейронной сети для прогнозирования землетрясений по временным рядам сейсмических данных на примере полуострова Камчатка и Командорских островов***

***Рыжов В.Л.\* (МГРИ, vladislavrzhv@gmail.com), Научный руководитель:  
Оборнев Е.А. (МГРИ, obornevea@mail.ru)***

**Аннотация**

Компьютерные системы анализа временных рядов помогают сейсмологам проводить обработку потоков информации сейсмического мониторинга, решая задачу прогнозирования вероятности появления разрушительного события с большой магнитудой. Рекуррентные нейронные сети (RNN-Recurrent neural network) [1] являются одной из самых мощных моделей для обработки последовательных данных, например, таких как временные ряды. Нейросетевая архитектура LSTM-Long short-term memory [2] – является успешной разновидностью архитектуры RNN. Целью данной работы является разработка, настройка и обучение нейронной сети типа LSTM для прогнозирования магнитуды на основе базы данных «Землетрясения России» от федерального исследовательского центра Единая геофизическая служба Российской академии наук (ЕГС РАН) [3].

**Ключевые слова**

Глубокое обучение, нейронные сети, рекуррентные сети, прогнозирование, временной ряд, сейсмология.

**Теория**

Для выбора наилучшей модели прогноза временных рядов проведен сравнительный анализ различных моделей глубоких нейронных сетей, таких как полносвязные нейронные сети, рекуррентные нейронные сети (RNN), одномерные сверточные нейронные сети (1D CNN) [4], рекуррентные нейронные сети с ячейкой долговременной краткосрочной памяти (LSTM). Различные архитектуры сверточных сетей представляют собой группу алгоритмов глубокого обучения, которые первоначально были разработаны для классификации изображений определённого класса: рукописные цифры, животные, дорожные знаки и т.д. Сеть берет из большого каталога (до нескольких миллионов одномерных и категоризованных данных) RGB-карту изображения, пропускает её через набор фильтров, применяя весовые коэффициенты к различным аспектам изображения, и в конечном счете строит классификационный оператор прогноза или распознавания категории нового изображения. Процесс обучения работает как система отбора признаков, благодаря которой со временем сеть на основе разнообразных фильтров отбирает наиболее важные признаки для классификации изображения. Аналогичный метод можно применить и к анализу временных рядов. Хотя временной ряд не имеет физических признаков, как у изображений, но данные временного ряда могут содержать и пространственные признаки. Временной ряд всегда можно представить как изображение, например, собрав его в кадры, где строки будут обозначать интервалы заданного периода, а столбцы – значения величины за период. Тогда, сверточные слои нейросети можно представить как скользящее окно с фильтром, которое сканирует кадр временного ряда, отображая форму его изменения за этот период, а затем, фильтруя его так, чтобы найти признаки, которые лучше всего характеризуют исследуемые данные.

Подобная сверточная модель может быть расширена с помощью включения в ее архитектуру скрытых LSTM слоев, чтобы выяснить какие из этих пространственных характеристик оказывают наибольшее влияние на обучение сети. LSTM – архитектура искусственной рекуррентной нейронной сети, используемая в глубоком обучении. Ячейка LSTM состоит из функций, которые определяют, является ли новая информация важной для задачи прогнозирования и остается ли старая информация актуальной. Эта память называется состоянием ячейки и может хранить всю ранее изученную релевантную информацию для полной обработки последовательности временных рядов, позволяя сохранять информацию, полученную намного раньше в последовательности в ходе обработки. В этом состоит основное преимущество архитектуры LSTM перед другими структурами RNN.

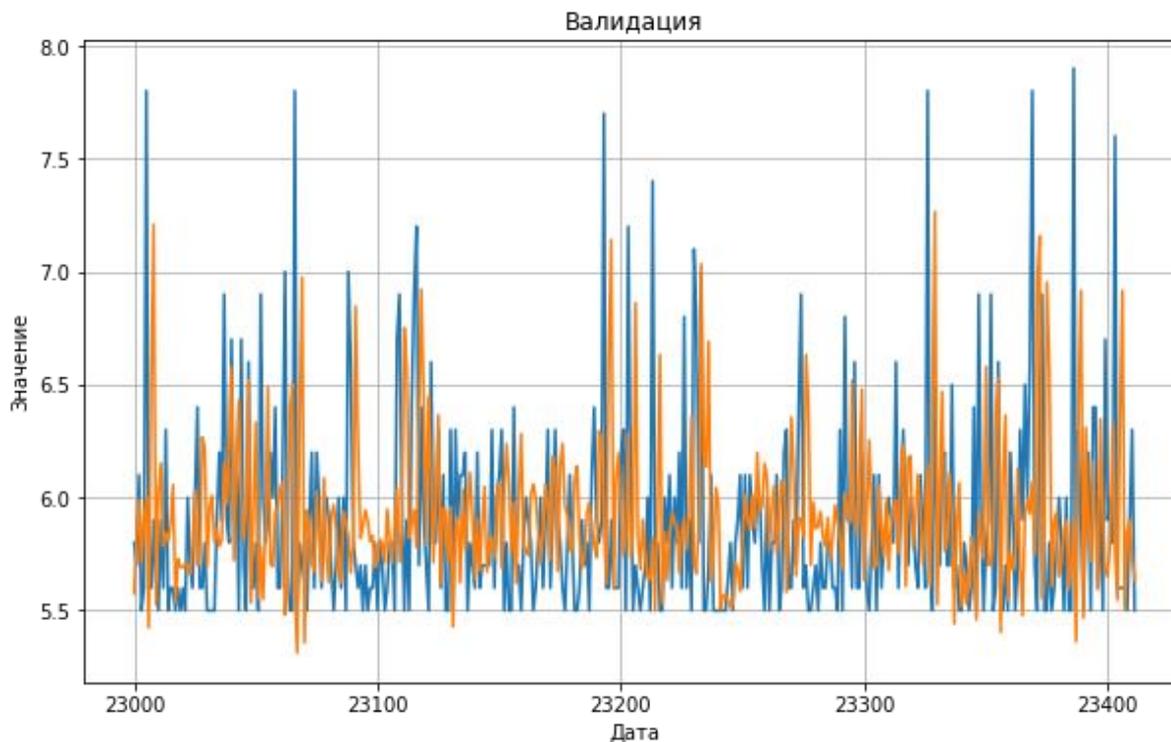
В отличие от рекуррентных нейронных сетей, LSTM-сеть хорошо приспособлена к обучению на задачах классификации, обработки и прогнозирования временных рядов в случаях, когда события разделены временными лагами с неопределенной продолжительностью и границами.

Данная архитектура позволяет переносить информацию от начала до конца обработки, тогда как другие сети RNN просто обновляют свое понимание с каждым дополнительным входом в последовательности. Для временных рядов архитектура LSTM является наиболее подходящей для моделирования временных связей в глубоких нейронных сетях. Она преодолевает проблему исчезающего градиента в рекуррентной нейронной сети для долгосрочного обучения зависимости в данных с использованием ячеек памяти. Эти особенности делают сеть LSTM мощным инструментом для анализа последовательностей, таких как временные ряды.

Исходные данные были взяты из базы данных «Землетрясения России» от федерального исследовательского центра Единая геофизическая служба Российской академии наук (ЕГС РАН), который определяет местоположение, глубину и магнитуду всех значительных землетрясений, происходящих на территории России. Для обучения и валидации модели был использован реальный набор сейсмической базы данных. Этот набор данных включает в себя запись даты, времени, местоположения, глубины, магнитуды источника каждого землетрясения с зарегистрированной магнитудой с 2003 по 2018 года.

В работе используется комбинированная нейросетевая архитектура, разработанная специально для данной задачи. Модель состоит из одномерного сверточного слоя, двух слоев LSTM, трех полносвязных слоев. Наиболее подходящей метрикой для временных рядов является средняя абсолютная ошибка (MAE), так как она меньше штрафует большие ошибки, в отличие от среднеквадратичной ошибки. Достигнутый минимум на валидационной выборке равен 0.35. Модель обучалась в течение 150 эпох, наилучший результат функции потерь Хьюбера (1), который получилось достигнуть на данном наборе данных равен 0.1.

$$L_{\delta}(y, f(x)) = \begin{cases} \frac{1}{2}(y - f(x))^2 & \text{для } |y - f(x)| \leq \delta, \\ \delta \left( |y - f(x)| - \frac{1}{2} \delta \right), & \text{иначе.} \end{cases} \quad (1)$$



**Рисунок 1.** Результаты проверки нейронной сети на валидационном наборе данных.

## Выводы

Построенная и обученная модель показывает хорошие результаты в моделировании и предсказании сейсмического временного ряда (Рис.1). Например, для декабря 201 года  $M_{\text{истинная}} = 2.9$ ,  $M_{\text{прогнозируемая}} = 2.6$ . Компьютерные эксперименты с архитектурой нейронных сетей показали, что модель глубокой нейронной сети, построенная на основе комбинирования архитектуры сверточных сетей со скрытыми слоями LSTM значительно лучше аппроксимируют исследуемые данные, чем модели, предназначенные для регрессионного анализа, и, соответственно, дает лучшие результаты прогнозирования.

## Библиография

1. Panakkat A. and Hojjat A. Neural Network Model for Earthquake Magnitude Prediction using multiple seismicity indicator // International Journal System. Vol. 17, No. 1. pp 13—33. 2007.
2. Hochreiter, S. and Schmidhuber J. Long Short-Term Memory // Neural Computation, vol. 9, pp. 1735-1780. 1997.
3. <http://eqru.gsras.ru/index.php?inc=main>.
4. LeCun Y, Boser B., Denker J.S., Henderson D., Howard R.E., Hubbard W. and Jackel L.D. Backpropagation Applied to Handwritten Zip Code Recognition // Neural Computation, pp. 541-551. 1989.

*Теоретические аспекты применения геоинформационных систем в сфере мониторинга земель*

*Самоеенко А.И.\* (обучающийся, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе) (МГРИ), [samoenko08@rambler.ru](mailto:samoenko08@rambler.ru)), Калинин А.Р. (профессор кафедры Экономики минерально-сырьевого комплекса, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе) (МГРИ), [kalinal@yandex.ru](mailto:kalinal@yandex.ru))*

**Аннотация**

В статье рассмотрены теоретические аспекты применения геоинформационных систем в сфере мониторинга земель.

Рассмотрено рациональное использование земельных ресурсов при помощи современных ГИС.

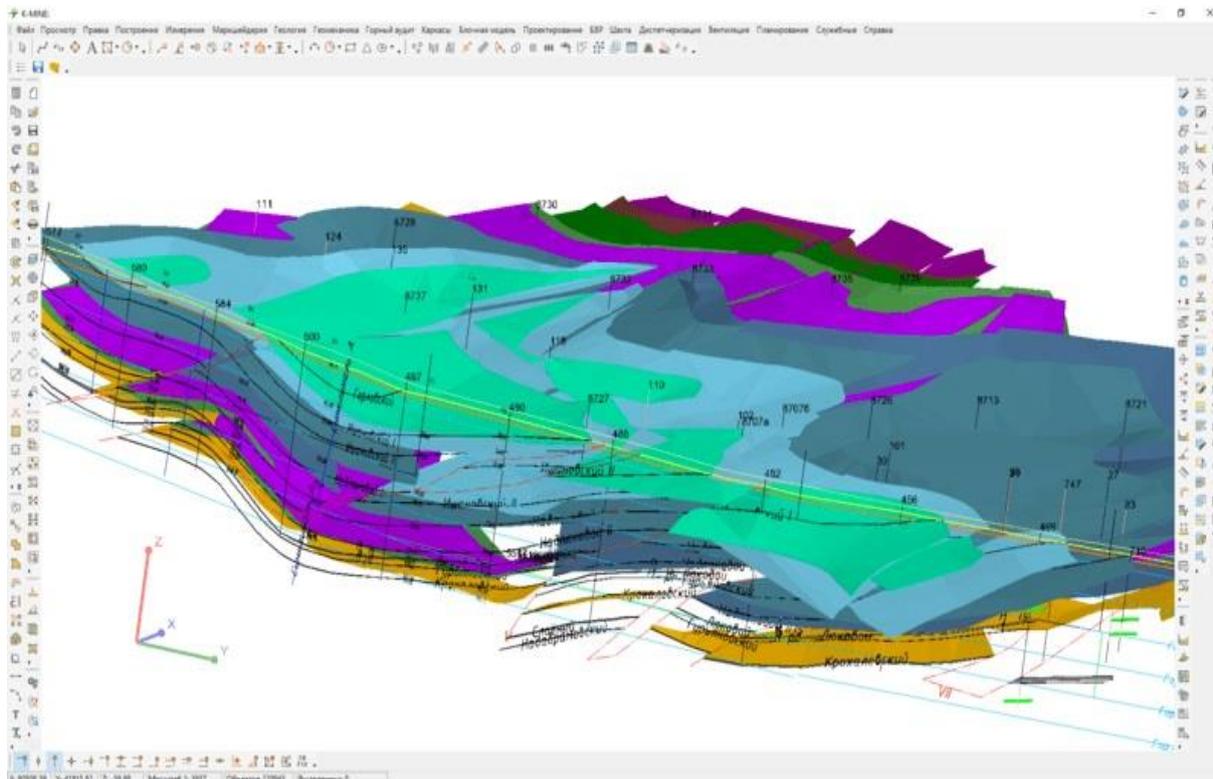
**Ключевые слова**

Пространственные данные, ГИС-системы, геоинформационные системы, управления природными ресурсами, мониторинг земель.

**Теория**

Сегодня геоинформационные системы (ГИС) являются неотъемлемой частью общественной жизни. Это доказывается тем, что за несколько десятилетий ГИС трансформировались из узкоспециализированных картографических приложений в часть географической информационной инфраструктуры. Широкий круг научных исследователей занимается проблемой мониторинга земель с использованием ГИС-технологий. Например, Копищев Э.Е. рассматривает ГИС, как основу экологического менеджмента [2].

Трехмерное моделирование в ГИС — это не просто симуляция реальности, а мощнейший инструмент для анализа, моделирования и публикации трехмерных геопространственных данных, а также служит обоснованием для принятия решений относительно объектов и субъектов контролируемого воздействия. Чтобы получить 3D-модель можно использовать доступные типы данных (например, рельеф, модели зданий изображения местности и пр.) любых ГИС (например, ArcGIS, Open Street Map, K-MINE и пр.), после привязки к координатам и введения дополнительных геопространственных и атрибутивных данных. При рассмотрении набора 3D-моделей во временном разрезе получаем четвертое измерение, которое позволит увидеть ретроспективу объекта или смоделировать его будущее состояние в географической информационной системе — 4D ГИС. На рисунке 1 представлена цифровая модель Барзасского разреза, построенная в программе K-MINE.



**Рисунок 1.** Цифровая модель участка Барзасский в K-MINE.

ГИС позволяют рассмотреть данные по анализируемым вопросам с точки зрения их пространственных отношений, что дает возможность всесторонней оценки ситуации и позволит принимать более точные и эффективные управленческие решения. Стоит отметить, ГИС также довольно широко применяются для составления кадастров, с помощью которых удобно создавать базы данных и карты по землепользователям и собственникам земельных участков, накладывая их на уже имеющиеся карты по различным природным и экономическим показателям, создавая тем самым комплексные карты [9].

В области мониторинга земель ГИС-технологии используются для создания цифровых моделей территории, данные для которых являются результатами обработки материалов дистанционного зондирования (ДЗЗ), а также различных измерений на местности. Государственный мониторинг земель предусматривает периодическое повторение комплекса агрохимических и почвенных анализов, необходимых для землеустройства.

Решение проблем рационального использования земельных ресурсов требует объективного подхода к составлению качественных почвенных карт, процесс которого требует больших затрат времени и средств. Как излагает в своей работе Копищев Э.Е., можно ускорить эти работы и сделать их более эффективными с помощью современных технических средств — использования материалов аэрофотосъемки и ГИС-технологий [2]. Федоринов А.В. в своих исследованиях утверждает, что интенсивное использование земель в аграрных регионах нашей страны требует масштабной инвентаризации с совершенствованием методологии выявления неиспользуемых, а также неправильно используемых земель современными методами ГИС.

Федоринов отмечает основную проблему — имеющийся планировочно-картографический материал, находящийся в неудовлетворительном состоянии, не отвечает современным требованиям:

- 1) целостность и полнота информации;
- 2) максимальная унификация;
- 3) компактность и наглядность;
- 4) точность и надежность;
- 5) своевременное обновление и согласованность [8].

## **Выводы**

Можно сделать вывод, что ГИС-технологии могут стать инструментом анализа, позволяющим принимать оптимальные решения по рациональному использованию и охране земель в будущем. Однако стоит обеспечить для таких систем качественную и актуальную информационную базу, содержащую точные статистические и атрибутивные данные.

Современный уровень развития ГИС во многом обусловлен тенденциями развития информационных технологий в целом и характеризуется переходом к новым формам организации хранения и эксплуатации пространственно-временных данных, среди которых можно отметить тенденцию переноса ресурсоемких приложений в среду облачных вычислений.

## **Библиография**

1. Алферина, А.В. ГИС-технологии в управлении земельными ресурсами [Текст] / А.В. Алферина // Вестник СФУ. Серия «Науки о Земле». – 2019. – №3 (15). – С.71-82.
2. Копишев, Э.Е. Применение ГИС – технологий при мониторинге и оценке сельскохозяйственных земель [Текст] / Э.Е. Копишев. Сб. материал междунар. научно-практич. конф. - Астана, 2016 - 289 с.
3. Ломакин, С.В. Оценка эффективности использования сельскохозяйственных угодий на основе технологий спутникового мониторинга [Текст] /С. В. Ломакин, С. А. Макаренко// Модели и технологии природообустройства (региональный аспект). – 2016. – Т. 01. – С 65-68.
4. Мягкий, П.А. ГИС – технологии в землеустройстве и мониторинге земель. [Текст] / П.А. Мягкий // Информация и образование: границы коммуникаци. – 2016. – №8 (16). – С.108-109.
5. Одинцов, С.В. Мониторинг использования земель сельскохозяйственного назначения на земельных участках непрошедших кадастровый учет прав с помощью ГИС технологий в Кочубеевском районе Ставропольского края [Текст] / С.В. Одинцов, А.В. Лошаков, Л.В. Кипа, Н.Ю. Хасай, Д.И. Иванников // Экономические науки. Вестник Алтайской академии экономик и права. – 2019. – №7. – С.85-90.
6. Сахарова, Е.Ю. Совершенствование методик обработки космических снимков в системе регионального мониторинга состояния сельскохозяйственных культур

- [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.34 / Сахарова Елена Юрьевна; СГУГиТ. – Новосибирск, 2018. – 119 с.
7. Стыцено, Е.А. Разработка методики автоматизированного дешифрирования растительного покрова с комплексным использованием разносезонных зональных космических изображений [Текст]: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.34 / Стыцено Екатерина Александровна; Моск. гос. университет геодезии и картографии. – Москва, 2018. – 194 с.
  8. Федоринов, А.В. Применение ГИС-технологий при инвентаризации земель сельскохозяйственного назначения [Текст] / А.В. Федоринов, О.А. Сорокина, Е.А. Дуплицкая // Московский экономический журнал. – 2019. – №8. – С.35.
  9. Харыбин, Т.А. Использование ГИС-технологий в решении проблем экологии [Текст] / Т.А. Харыбин // Современная наука: проблемы и перспективы развития. – 2016. – С.16-20.

*Исследования применения алгоритма двумерной фильтрации в скользящих окнах «живой» формы. Применение в центральной области Вьетнама*  
*Фан Т. Х. \*(МГРИ, Ханойский горно-геологический университет Вьетнама, phanthihong@hmg.edu.vn), Петров А. В. (МГРИ, petrovstud@mail.ru), До М.Ф. (МГРИ, Главного управления геологии и полезных ископаемых Вьетнам, dominhphuong.dkt@gmail.com)*

## Аннотация

Двумерный фильтр в скользящих окнах «живой» формы - оптимальное решение в компьютерной технологии «КОСКАД-3D», алгоритм построен по результатам анализа двумерной корреляционной функции и спектра поля наблюдения. Форма и размер окна фильтра регулируются с изменением свойств спектральной корреляции поля в зоне фильтрации, поэтому результаты фильтрации оптимизируются в соответствии с аномальной формой и без потери полезной информации во время фильтрации. Алгоритм двумерной фильтрации в скользящих окнах разделит гравитационную аномалию в центральной области Вьетнама на 3 компонента: трендовая компонента гравитационного поля, локальная компонента 1-го порядка гравитационного поля, локальная компонента 2-го порядка гравитационного поля.

## Ключевые слова

КОСКАД-3D, гравиразведка, двумерный фильтр, центральная область Вьетнама.

## Теория

Наблюдаемые на поверхности геофизические аномалии были случайными значениями и не фиксированными, поэтому процесс фильтрации (отделения) всех шумов из наблюдаемого поля или процесс разделения поля на статические компоненты и локальная зональная фильтрация являются важным шагом на ранних этапах обработки данных. Сегодняшние компьютерные технологии [1, 8,10] в основном используют фильтры с фиксированными размерами окна, перемещающимися по всей области исследования, с выбором параметра размера окна по субъективному мнению аналитика, это приводит к результатам фильтрации, которые теряют или искажают полезную информацию, относящуюся к предметам исследования.

Для решения этих ограничений был построен алгоритм двумерной фильтрации для адаптирования к изменениям статистических и спектральных корреляционных свойств поля, который интегрируется в компьютерной технологии «КОСКАД-3D» [4, 5, 6, 7]. В это время форма и размер окна фильтра непрерывно изменяются, чтобы адаптироваться к изменениям свойств спектральной корреляции поля, алгоритм позволяет максимальным образом учитывать нестационарность геофизических полей и исключить негативные эффекты, свойственные неадаптивным процедурам обработки.

Выбор размеров окна фильтра (ширина, высота, наклон) основан на анализе двумерной корреляционной функции ДАКР ( $m, p$ ), которая рассчитывается между точками измерения вдоль профилей и между профилями и при центрированных значениях поля на каждом профиле определяется выражением:

$$R(p, m) = \frac{1}{N - |p|} \frac{1}{n - |m|} \sum_{k=1}^{N-|p|} \sum_{i=1}^{n-|m|} \Delta g_k(x_i) \Delta g_{k+p}(x_{i+m}) \quad (1)$$

где:  $\Delta g_k(x_i)$  – центрированное значение поля на  $k$ -м профиле и  $i$ -ой точке; индекс  $p$  – смещение между профилями съемки:  $p = 0, \pm\Delta y, \pm 2\Delta y, \dots$ ;  $m$  – смещение между точками по профилю:  $m = 0, \pm\Delta x, \pm 2\Delta x, \dots$ ;  $N$  – общее число профилей;  $n$  – общее число точек по профилю (трассе).

После вычисления 2-ой корреляционной функции мы определяем форму и размер окна фильтра согласно рис.1.

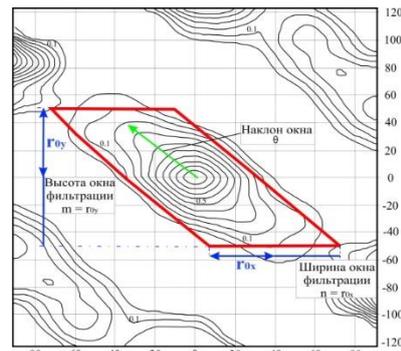


Рисунок 1. Выбор текущих параметров окна фильтрации по ДАКФ( $m, p$ )

Алгоритм двумерного фильтра в скользящих окнах «живой» формы выполняется в соответствии с процедурой, показанной на рисунке 2:



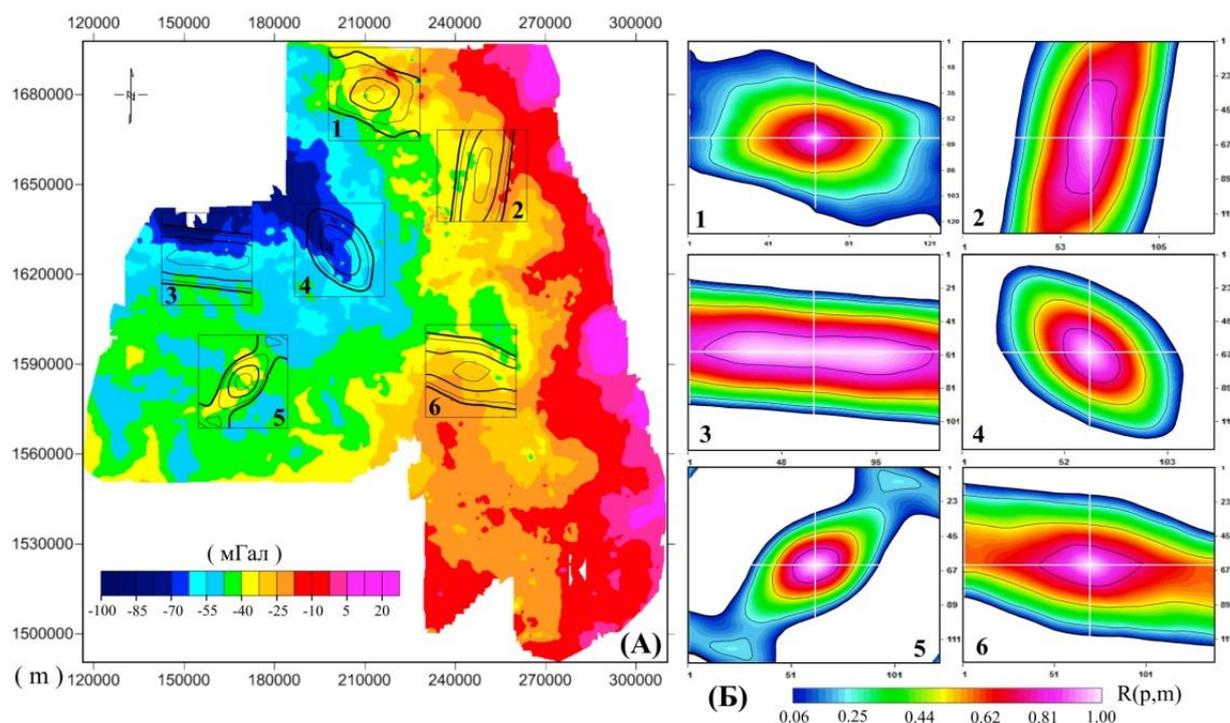
Рисунок 2. Схема алгоритма двумерного фильтра в скользящих окнах «живой» формы

Согласно схеме алгоритма на рис.2, чтобы четко увидеть выдающиеся преимущества двумерного фильтра в скользящих окнах «живой» формы в сравнении с традиционными фильтрами, использующими фиксированный размер окна по всей области исследования. Мы исследовали размер и форму окна фильтра в разных местах в данных гравитационных аномалий в центральной области Вьетнама [2, 7], и результаты показаны на рисунке 3.

Наблюдая на рис.3, мы видим что: аномалия в соответствующем окне 3А(5) положении изменяется в основном в направлении юго-восточном, при анализе двумерной корреляционной функции ДАКФ ( $m, p$ ) по формуле (1) получаем форму окна фильтра по направлению юго-восточному, совпадающему с направлением аномалии, размер окна фильтра определяется на рис.3Б(5). При положении окна на рис.3А(4) аномальное поле изменяется по направлению юго-западному, в результате анализа корреляционной функции получают форму окна фильтра, совпадающую с направлением аномалии (юго-запад) и размер окна фильтра, показанный на рис.3Б(4). Аналогичным образом в позициях окон на рис.3А(1), 3А(2), 3А(3), 3А(6) мы получаем формы окна

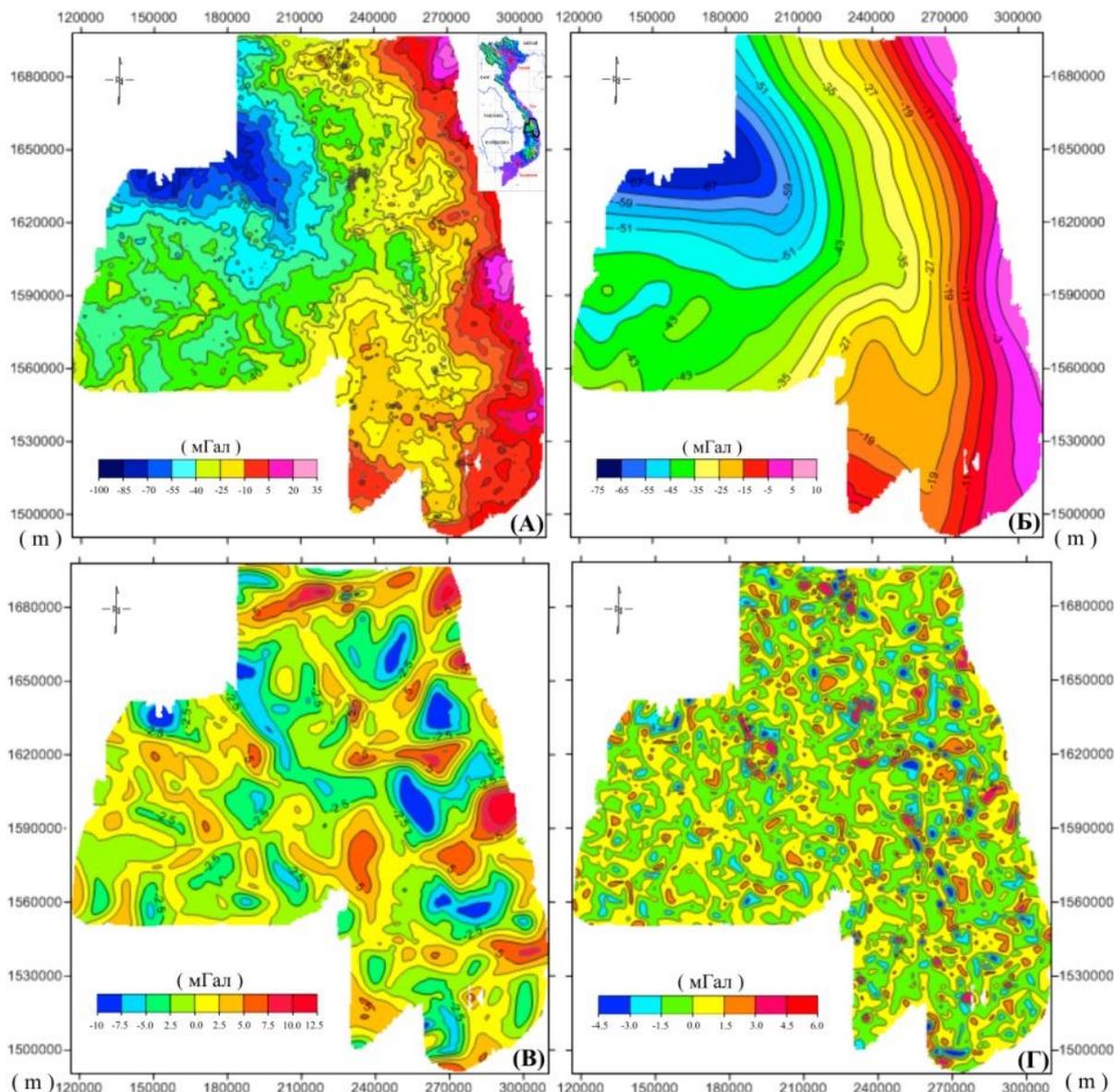
фильтра, соответствующие формам аномалий поля, а размер окна фильтра определяется на рис.3Б(1), 3Б(2), 3Б(3), 3Б(6).

Из анализа вышеупомянутой модели мы видим, что форма и размер окна фильтра всегда изменяются в соответствии со спектральными корреляционными характеристиками наблюдаемой аномалии поля. В процессе фильтрации алгоритм максимально учитывает нестабильность геофизических полей и устраняет негативные эффекты в процессе фильтрации без адаптации. В это время информация фильтра будет оптимизирована в аномальной форме и без потери полезной информации во время фильтрации, это приметные преимущества двустороннего фильтра в скользящих окнах «живой» формы в сравнении с традиционными фильтрами, которые используют фиксированные окна. Ширина и высота окна фильтра минимальны, если в окрестности определенной точки нет аномалий и наоборот, высота и ширина окна фильтра максимальны и не превышают размеров базового окна.



**Рисунок 3.** (А) - Расположение и площадь базового окна в данных гравитационных аномалий в центральной области Вьетнама; (Б) - Форма и размер окна двумерного фильтра в соответствии с корреляционной функцией ДАКФ  $(m, p)$  соответственно положениям окна на рис А.

Применяем алгоритм двумерного фильтра в скользящих окнах «живой» формы в данных гравитационного аномального поля Буге в масштабе 1: 100000 в центральной области Вьетнама [2, 3, 7] и показано на рисунке 4.



**Рисунок 4.** Результаты выделения гравитационной аномалии Буге в центральной области Вьетнама с помощью двумерного фильтра в скользящих окнах «живой» формы: (А)- наблюдаемое поле гравитационной аномалии Буге; (Б)- трендовая компонента гравитационного поля; (В)- локальная компонента 1-го порядка гравитационного поля и (Г)- локальная компонента 2-го порядка гравитационного поля.

Наблюдаем за рис.4В, видим, что аномалия области изменяется от -75 мГал до +10 мГал с растущей тенденцией в направлении юго-западном, обратно коррелирует с региональной топографией: высокие холмы на северо-западе и низкие на юго-востоке [7], что отражает низкую топографию Мохо на северо-западе и высокую на юго-востоке.

На рис.4В и 4Г видно, что существует множество локальных неоднородных блоки, распределенных с относительно большой плотностью в этой области. В частности, на рис.4С амплитуда колеблется от -10 мГал до +12,5 мГал, неоднородность с положительной плотностью в основном сосредоточена на севере, в центре и на юго-западе региона с амплитудой от +8мГал до +12,5 мГал. На рис.4Г показано, что локальные неоднородные блоки имеют небольшой размер около поверхности с

амплитудой от -4,5 мГал до +6,0 мГал, локальные неоднородные блоки имеют положительную плотность на севере, в центре и на западе области исследования.

## **Выводы**

Двусторонний фильтр в скользящих окнах «живой» формы - эффективное решение в компьютерной технологии «КОСКАД-3D». Форма и размер окна фильтра меняются в соответствии со спектрально-корреляционными характеристиками месторождения, фильтрация выполняется точно в нестабильных условиях аналитического поля, оптимизирует полезную информацию о месторождении, повышает эффективность геологической интерпретации. Результаты применения фильтрации в центральной области Вьетнама разделены на 3 компонента: трендовая компонента гравитационного поля, локальная компонента 1-го и 2-го порядков гравитационных полей.

## **Библиография**

1. Geosoft, Ver. 7.01: Manuals, Tutorials, and Technical Notes. Geosoft inc., 2008.;
2. Нгуен Ч. Л. и др. Измерение полета по гамма-спектру в масштабе 1: 50.000, и измерение гравитационного поля в масштабе 1:100.000 в центральном Вьетнаме. Федерация физики и геологи, Главное управление геологии и минералов Вьетнама. 2000. 250 с. во Вьетнаме.
3. Никитин А. А., Петров А. В.. Теоретические основы обработки геофизической информации. Учебное пособие. 2017. Москва 127с.
4. Петров А. В., Юдин Д. Б., Соели Хоу. Обработка и интерпретация геофизических данных методами вероятностно-статистического подхода с использованием компьютерной технологии «КОСКАД 3D». Науки о Земле, N0 2, С. 2010. 126-132.
5. Петров А. В. Адаптивные процедуры интерпретационной обработки нестационарных геополей в компьютерной технологии «КОСКАД-3D». Международная научно-практическая конференция. 2018. 418-420, МГРИ-РГРУ, Москва, Россия.
6. Фан Т. Х., Петров А. В., До М. Ф. Обработка и интерпретация аномалий гравитационных данных в центральной области Вьетнама с использованием компьютерной технологии «КОСКАД-3D». Молодые – наукам о земле, 2020. 293-297, МГРИ-РГРУ, Москва, Россия.
7. <http://www.geosoft.com>
8. <http://www.coscad3d.ru>
9. [http://www.agu.org/eos\\_elec/95154e.html](http://www.agu.org/eos_elec/95154e.html)